



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**PEDRO HENRIQUE SILVA PENEDO**

**RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E TURBIDEZ EM CURSOS D'ÁGUA NO ESPÍRITO SANTO**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES  
AGOSTO - 2015

PEDRO HENRIQUE SILVA PENEDO

**RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E TURBIDEZ EM CURSOS D'ÁGUA NO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, na Linha de Pesquisa Meio ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof.D.Sc. Giovanni de Oliveira Garcia  
Coorientador: Prof.D.Sc. Roberto Avelino Cecílio  
Coorientador: Prof.D.Sc. Sidney Sára Zanetti

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

AGOSTO - 2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

P398r Penedo, Pedro Henrique Silva, 1981-  
Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água no Espírito Santo / Pedro Henrique Silva Penedo. – 2015.  
80 f. : il.

Orientador: Giovanni de Oliveira Garcia.  
Coorientadores: Roberto Avelino Cecílio ; Sidney Sára Zanetti.  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Bacias hidrográficas. 2. Análise de agrupamento. 3. Correlação (Estatística). I. Garcia, Giovanni de Oliveira. II. Cecílio, Roberto Avelino. III. Zanetti, Sidney, Sára. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 630

---

**RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E TURBIDEZ EM CURSOS D'AGUA NO  
DO ESTADO DO ESPIRITO SANTO**

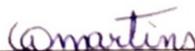
**Pedro Henrique Silva Penedo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

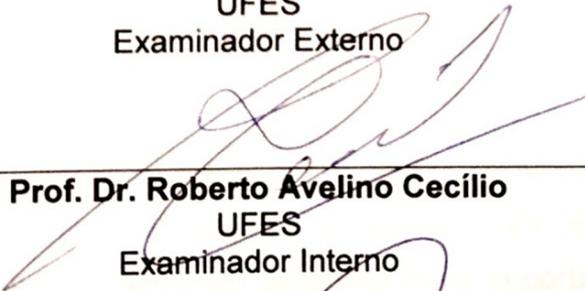
Aprovada em 28 de agosto de 2015.

  
\_\_\_\_\_

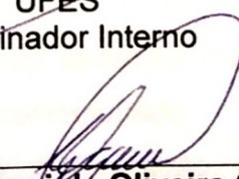
**Dra. Gheila Corrêa Ferres Baptestini**  
Examinador Externo

  
\_\_\_\_\_

**Dra. Camila Aparecida da Silva Martins**  
UFES  
Examinador Externo

  
\_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio**  
UFES  
Examinador Interno

  
\_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia**  
UFES  
Orientador

## **Agradecimentos**

Ao fim dessa caminhada, agradeço ao Universo, por suas convergências poderosas, pelos valiosos insights e pela beleza da simplicidade de suas leis, que regem a tudo. A Sri Ganesha, por ser um símbolo da minha percepção dessas forças.

Agradeço a Vicente, meu pai e Ana Cristina, minha mãe, pela oportunidade de vir a este mundo sob sua guarda e influência, pela educação, amor, valores e companhia. Agradeço a Tatiane minha irmã, por todos os momentos vividos juntos.

Agradeço a Juliana, minha companheira de caminhada, pelo nosso amor e união. Por seu apoio, paciência e compreensão em todas as minhas ausências durante esse período. E pela confiança em ser coautora nos dois projetos mais importantes de minha vida, Joana e Laura.

Agradeço a Joana e Laura, minhas filhas, por cada sorriso, me iluminando por dentro.

Agradeço a todos que ajudaram a despertar em mim a vontade de entender. Especialmente ao meu pai por me ensinar a usar a ferramenta mais importante de todas, o serrote imaginário, e ao professor Ricardo Marius Della Lúcia, por conceitua-lá, muitos anos depois.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Giovanni, e coorientadores, Prof. Sidney e Prof. Roberto pela valiosa discussão e orientação e por acreditarem na minha ideia e na minha capacidade de realiza-la.

Agradeço ao PPGCF e a todos que aqui trabalham, pela estrutura física e organizacional do curso.

Agradeço aos meus colegas de curso pela convivência, pela discussão de ideias, pelos estudos e pelas risadas na hora do café. E a Prof. Graziela pela cessão da cafeteira, o segundo aparelho mais importante de qualquer ambiente de trabalho, depois do ar condicionado.

Agradeço ao Instituto de Colonização e Reforma Agrária, pela experiência profissional e pela concessão da licença para capacitação.

Agradeço a CESAN pela cessão dos dados de turbidez utilizados.

## RESUMO

PENEDO, Pedro Henrique Silva. . **Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água no Espírito Santo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia. Coorientadores: Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio e Prof. Dr. Sidney Sára Zanetti.

Objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar a relação entre a turbidez e características morfométricas e de uso do solo em 50 bacias hidrográficas no Estado do Espírito Santo. Foram selecionados 50 pontos de adução de água bruta operados pela Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) para tratamento e fornecimento à rede de abastecimento público. Para controle do processo de tratamento e dosagem de reagentes, dados de turbidez são coletados periodicamente. Neste estudo foi utilizado médias mensais de turbidez de 48 meses, de Janeiro de 2006 a Dezembro de 2008. As bacias hidrográficas foram delimitadas com a utilização de um modelo digital de elevação hidrologicamente consistido, obtido em ambiente SIG, bem como as respectivas características morfométricas. Os dados de precipitação média mensal de estações pluviométricas referentes ao período foram espacializados utilizando a técnica geoestatística krigagem ordinária. Os dados de uso do solo são oriundos do banco de dados do Instituto Estadual do Meio Ambiente – IEMA e da base de dados geográficos do Estado do Espírito Santo – Geobases. Foi realizada a análise de regressão entre a turbidez e a precipitação em todas as bacias, resultando em equações com  $r^2$  variando entre 0,90 e 0,015. Após eliminação de variáveis independentes com alto coeficiente de correlação entre si, para redução da multicolinearidade, aplicou-se a técnica de análise de agrupamento hierárquico para agrupar as bacias quanto as características morfométricas e de uso de solo similares. Foi realizada a análise de correlação parcial entre as variáveis nos grupos obtidos, para avaliação de sua influencia na turbidez. Foi realizada a análise de regressão múltipla entre as variáveis e a turbidez nos grupos obtidos, resultando em equações ajustadas com  $r^2$  entre 0,68 e 0,16. As variações da interação da precipitação, das características morfométricas e de uso do solo com os níveis de turbidez que ocorrem em escala sub-mensal não puderam ser percebidos, o que pode ter contribuído para a imprecisão dos modelos ajustados.

**Palavras-chave:** bacias hidrográficas; análise de agrupamento; correlação parcial.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the relationship between turbidity, morphometric characteristics and land use characteristics in 50 watersheds in the Espírito Santo state, Brazil. 50 points of water uptake operated by Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) for treatment and supply to the public network, were selected. Turbidity data are collected periodically by CESAN to control the treatment process and reagents dosage. This study used monthly average turbidity of 48 months, from January 2006 to December 2009. The watersheds were delimited using a hydrologically consisted digital elevation model obtained in GIS environment, and their morphometric characteristics. The average monthly rainfall data for the period from rainfall gauges were spatialized using a geostatistical technique ordinary kriging. The land use data came from Instituto Estadual do Meio Ambiente – IEMA database, and Espírito Santo's state geographical database - Geobases. Regression analysis between turbidity and precipitation in all the basins was performed, resulting in equations with an  $R^2$  ranging between 0.90 and 0.015. The removal of highly correlated independent variables was done to reduce multicollinearity. A hierarchical cluster analysis technique was applied to group the watersheds of similar morphometric characteristics and similar land use. A partial correlation analysis was performed between the variables in the obtained groups, to assess its influence on turbidity. Multiple regression analysis was performed between the variables and the turbidity in the obtained groups, resulting in adjusted equations with  $R^2$  between 0.68 and 0.16. Interaction variations of the precipitation, morphometric characteristics and land use with turbidity levels occurring in sub-monthly scale could not be observed, which may have contributed to the inaccuracy of the adjusted models.

**Keywords:** watersheds; cluster analysis; partial correlations.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 TURBIDEZ .....	3
2.1.1. Turbidez e a operação de ETAs .....	4
2.2 PROCESSOS HIDROLÓGICOS, USO DO SOLO E FONTES DE TURBIDEZ .....	5
2.2.1. Precipitação.....	5
2.2.2. Interceptação .....	6
2.2.3. Infiltração e escoamento superficial.....	7
2.3. INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO – KRIGAGEM.....	8
2.4. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO .....	9
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>11</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	11
3.2. OBTENÇÃO DOS DADOS DE TURBIDEZ.....	12
3.3. OBTENÇÃO DOS DADOS DE USO DO SOLO .....	14
3.4. OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO .....	16
3.5. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
3.5.1. Modelo digital de elevação - MDE .....	18
3.5.2. Modelo digital de elevação hidrologicamente consistido - MDEHC .....	18
3.5.3. Delimitação das Bacias Hidrográficas .....	19
3.6. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS .....	21
3.7. ANÁLISE DOS DADOS.....	24
3.7.1. Padronização dos dados.....	25
3.7.2. Diagnóstico de multicolinearidade .....	25
3.7.3. Descarte de variáveis e agrupamento das bacias .....	26
3.7.4. Análise de correlação parcial .....	27
3.7.5. Regressão entre turbidez e precipitação .....	28
3.7.6. Regressão múltipla .....	28
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
4.1. INTERPOLAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO .....	29
4.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	30
4.3. REGRESSÃO ENTRE TURBIDEZ E PRECIPITAÇÃO NAS BACIAS .....	33
4.4. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO .....	46
4.4.1. AGH por características morfométricas .....	46
4.4.2. AGH por características de uso do solo .....	48

4.4.3. AGH por características morfométricas e de uso do solo .....	50
4.5. CORRELAÇÃO PARCIAL.....	52
4.6. REGRESSÃO MÚLTIPLA.....	54
4.7. DISCUSSÃO .....	54
4.7.1. Grupos formados por características morfométricas .....	54
4.7.2. Grupos formados por características de uso do solo .....	57
4.7.3. Grupos formados por características morfométricas e de uso do solo .....	58
4.7.4. Considerações gerais .....	58
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>62</b>
<b>6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relevo do Estado do Espírito Santo (FONTE: elaborado pelo autor)	11
Figura 2. Localização das 50 ETAs operadas pela CESAN no Estado do Espírito Santo (FONTE: elaborado pelo autor).....	14
Figura 3. Distribuição espacial das estações pluviométricas. (FONTE: Elaborado pelo autor).....	16
Figura 4. Diferença de escala da hidrografia de referencia (azul – 1:100.000 na porção sul e 1:250.000 na porção norte) e hidrografia numérica intermediária (vermelha), obtida por limiar de acúmulo de células convergentes (100 células = 90.000 m <sup>2</sup> ).....	20
Figura 5. Fluxograma de obtenção do MDEHC, delimitação das bacias hidrográficas e ordenamento da hidrografia .....	21
Figura 6. Distribuição espacial das cinquenta bacias hidrográficas delimitadas. (FONTE: Elaborado pelo autor).....	30
Figura 7. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0003 a 0010. ....	33
Figura 8. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0011 a 0501. ....	34
Figura 9. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0502 a 0702. ....	35
Figura 10. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0900 a 1001. ....	36
Figura 11. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 1005 a 1202. ....	37
Figura 12. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 1300 a 1700. ....	38
Figura 13. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 2000 a 2201. ....	39
Figura 14. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 2900 a 3205. ....	40
Figura 15. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 3402 a 5503. ....	41

Figura 16. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 5600 a 5901. ....	42
Figura 17. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 6000 a 6201. ....	43
Figura 18. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 6206 a 7400. ....	44
Figura 19. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 7800 a 9900. ....	45
Figura 20. Análise de agrupamento hierárquico (AGH) das bacias, quanto as variáveis morfométricas Pr, Kc, Kf, SIN, S1, Δa, Rr e Dm. A linha vermelha vertical delimita o corte a 30% e as linhas vermelhas horizontais, delimitam os grupos formados (m1 a m5). ....	47
Figura 21. Análise de agrupamento hierárquico (AGH) das bacias, quanto as variáveis de uso do solo Vias, Vitr, Edif, Crup, Mnrc, Rfta, Pstg, Pfta, Solo, Agrp e Agrt. A linha vermelha vertical delimita o corte a 30% e as linhas vermelhas horizontais, delimitam os grupos formados (u1 a u8). ....	49
Figura 22. Análise de agrupamento hierárquico (AGH) das bacias, quanto as variáveis morfométricas e de uso do solo Vias, Vitr, Edif, Crup, Mnrc, Rfta, Pstg, Pfta, Solo, Agrp, Agrt, Pr, Kc, Kf, SIN, S1, Δa Rr e Dm. A linha vermelha vertical delimita o corte a 30% e as linhas vermelhas horizontais, delimitam os grupos formados (t1 a t5). ....	51

## INDICE DE TABELAS

Tabela 1. Variação da concentração do coagulante sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) em função da turbidez da água bruta para a ETA Santa Maria do Jetibá .....	4
Tabela 2. Coordenadas, município e rio em que estão localizadas as cinquenta ETAs utilizadas .....	13
Tabela 3. Raiz do quadrado médio do erro (RQME) dos modelos de semivariograma ajustados por validação cruzada, com destaque para os menores valores por mês. 29	
Tabela 4. Médias de turbidez média mensal, precipitação média mensal, características morfométricas e de uso do solo das cinquenta bacias delimitadas a partir dos pontos de adução da CESAN. As ETAs são identificadas por um código de quatro dígitos, na coluna à esquerda	31
Tabela 5. Médias das variáveis por grupo formado pela análise de agrupamento hierárquico (AGH) quanto as variáveis morfométricas.	48
Tabela 6. Médias das variáveis por grupo formado pela análise de agrupamento hierárquico (AGH) quanto as variáveis de uso do solo.	50
Tabela 7. Médias das variáveis por grupo formado pela análise de agrupamento hierárquico (AGH) quanto as variáveis morfométricas e de uso do solo. ....	52
Tabela 8. Correlações parciais entre turbidez (Tr) e demais variáveis nos grupos formados pelos agrupamentos das bacias. Na primeira coluna a esquerda está a lista das variáveis e nas demais colunas os respectivos valores de correlação parcial para cada grupo formado nas análises de agrupamento hierárquicas (AGH).....	53
Tabela 9. Coeficientes das variáveis, $r^2$ ajustado e erro padrão das regressões lineares múltiplas ajustadas para os grupos.....	55

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural insubstituível para a manutenção da vida na Terra. A contínua degradação de sua qualidade tem consequências diversas para os ecossistemas e para as populações humanas. Por ser um recurso de uso múltiplo, para cada finalidade existe a demanda por um conjunto de parâmetros específicos, o que condiciona a qualidade da água para este emprego.

As alterações das características físico-químicas da água, decorrentes dos diferentes usos que afetam sua qualidade, tem impacto direto em outras formas de utilização, uma vez que a qualidade da água em um ponto de adução tem relação com a qualidade hidrológica da bacia hidrográfica localizada a montante (SALMONA; REIS JUNIOR, 2011).

A relação da bacia hidrográfica com a qualidade da água é influenciada por fatores que podem variar no tempo e no espaço (TONG; CHEN, 2002), havendo relação direta com a vazão, o clima, a conformação topográfica do terreno, o uso do solo, a erosão e a descarga de efluentes agrícolas, domésticos/urbanos e industriais (PEREIRA, 2004). Conseqüentemente, a substituição da cobertura vegetal natural influencia diversos componentes do ciclo hidrológico, alterando a resposta hidrológica da bacia de forma quantitativa e qualitativa (EUGÊNIO et al, 2013). Por estes motivos, estudos relacionando a qualidade da água com a ocupação, uso e manejo do solo são realizados com diferentes objetivos.

Para fins de consumo humano, a depreciação da qualidade da água em um manancial pode ter consequências diversas para o abastecimento público, como a contaminação com patógenos ou substâncias tóxicas, riscos de ocorrência de eutrofização e o conseqüente aumento no custo do tratamento para fornecimento a rede de abastecimento público (MOTTA, 2015; PEREIRA, 2004).

Dentre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano, considerando padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), a turbidez é um dos parâmetros de controle de qualidade para avaliação das características físicas da água bruta e tratada.

A turbidez é uma expressão dos sólidos em suspensão na água, de origem orgânica e inorgânica, tendo relação com processos erosivos, o transporte de sedimentos, assoreamento de cursos d'água e represas (De VINCENZO et al., 2011; RAPOSO et al., 2010; TEIXEIRA, SENHORELO, 2000; VON SPERLING, 2005) bem como com o desgaste prematuro de máquinas e equipamentos. Pode ainda ocasionar desequilíbrios nos ambientes aquáticos como a alteração dos processos de produção primária, em função da atenuação da transmissão da radiação luminosa, bem como servir de suporte a proliferação de microorganismos patógenos, além da mortalidade da fauna aquática (CAMPLESI et al., 2010; NEVES, 2010; ROWE et al., 2002).

As empresas que realizam o abastecimento de água para consumo humano coletam dados de turbidez como subsídio para o tratamento da água bruta. Estes registros constituem uma fonte de dados significativa sobre a dinâmica da turbidez nos rios utilizados para abastecimento público.

Dadas as diferentes características naturais e antrópicas das bacias hidrográficas, a avaliação dos fatores que influenciam os níveis de turbidez demanda o uso de metodologias que devem ser ajustadas regionalmente. O conhecimento da influência dos diversos fatores nas estimativas dos níveis de turbidez da água em bacias hidrográficas constitui-se em importante ferramenta para o manejo dessas áreas. Este conhecimento pode auxiliar o planejamento de ações de reflorestamento, o incentivo a usos do solo menos agressivos e adoção de práticas de conservação do solo e educação ambiental, bem como no monitoramento de áreas prioritárias para tais intervenções, com o potencial de reduzir custos com tratamento da água para abastecimento público.

Diante do exposto, o objetivo consistiu em relacionar a turbidez com a precipitação e com as características morfométricas e de uso do solo de 50 bacias hidrográficas cujos mananciais são utilizados para abastecimento público no Estado do Espírito Santo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 TURBIDEZ

Turbidez (Tr) é uma característica física de qualidade da água, definida pelo grau de interferência a passagem da luz (FRANÇA, 2009; PEREIRA, 2004; VON SPERLING, 2005) fazendo com que seja espalhada ou absorvida em uma amostra de água, em vez de transmitida em linha reta (PARRÓN et al., 2011). A turbidez é medida com turbidímetros, sendo expressa em unidade nefelométrica de turbidez (NTU – acrônimo do inglês *nephelometric turbidity unit*). Os turbidímetros são calibrados utilizando solução de formazina, em concentrações padrão (HACH, 1998).

A turbidez é causada pela presença de sólidos em suspensão, de origem inorgânica (areia, silte e argila) ou orgânica (plâncton, compostos orgânicos solúveis coloridos e partículas orgânicas). Por ser uma expressão indireta dos sólidos em suspensão e da ocorrência de erosão hídrica, é de interesse para as estimativas de descarga de sedimentos, que ocasionam assoreamento de barragens, desgaste de equipamentos, bem como servem como meio de suporte e crescimento para patógenos, além de afetar suas características visuais, podendo comprometer sua utilização para lazer (BRASIL, 2005; PARRÓN, et al., 2011).

Foi encontrada boa correlação entre Tr e sólidos suspensos em sub-bacias pertencentes a bacia do rio Jucu Braço Sul (ES) com  $r^2$  entre 0,80 e 0,98 (TEIXEIRA; SENHORELO, 2000) e no reservatório de Mogi-Guaçu, com  $r^2$  de 0,76 (SANTOS et al. 2014). Boa correlação entre Tr e sólidos suspensos em bacias rurais também foi observada na Áustria, com  $r^2$  de 0,83 (EDER et al., 2010), na Espanha com  $r^2$  entre 0,82 e 0,96 (LÓPEZ-TARAZÓN et al., 2010), sendo em ambos os casos utilizada como estimador de sólidos em suspensão para monitoramento de descarga de sedimentos.

A alteração dos níveis de turbidez foi correlacionada com o uso do solo (RAPOSO; BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR, 2010). Tran et al. (2010) relacionaram maiores alterações nos valores de sólidos em suspensão com escoamento superficial oriundo de áreas agrícolas, também evidenciaram a capacidade de áreas de vegetação ripária funcionarem como contenção.

Gonçalves et al. (2012) constataram alteração sazonal no nível de turbidez, entre as estações chuvosa e seca.

Salmona e Reis Junior (2011) relacionaram os níveis de turbidez com estimativas de perda de solos obtidas pela Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

### 2.1.1. Turbidez e a operação de ETAs

A turbidez é uma característica de qualidade da água de grande importância. Para o abastecimento urbano, é uma característica indesejável, tanto como indicativo hidrossanitário, quanto como característica organoléptica, motivo pelo qual é parâmetro de qualidade controlado de forma contínua (BRASIL, 2011; CAMPLESI et al, 2010). O processo de tratamento de águas superficiais para abastecimento na rede pública utiliza a turbidez, o pH e a cor como principais parâmetros de controle e dosagem de reagentes (FERREIRA FILHO; MARCHETTO, 2006; MOTTA, 2015; SALMONA; REIS JUNIOR, 2011). Na Tabela 1 é apresentada a concentração do coagulante sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) em função da turbidez da água bruta para a ETA Santa Maria do Jetibá.

Tabela 1. Concentração do coagulante sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) em função da turbidez da água bruta para a ETA Santa Maria do Jetibá

Turbidez em NTU	Intervalo do pH	Dosagens de coagulante $Al_2(SO_4)_3$ recomendadas		
		mínima	melhor dosagem	Máxima
<5	6,0 > < 7,0	3 mg/L	4 mg/L	5 mg/L
5 > < 20	6,0 > < 7,0	4 mg/L	5 mg/L	6 mg/L
20 > < 40	6,0 > < 7,0	5 mg/L	6 mg/L	7 mg/L
40 > < 60	6,0 > < 7,0	6 mg/L	7 mg/L	8 mg/L
60 > < 80	6,0 > < 7,0	7 mg/L	8 mg/L	9 mg/L
80 > < 100	6,0 > < 7,0	8 mg/L	10 mg/L	12 mg/L
100 > < 150	6,0 > < 7,0	10 mg/L	11 mg/L	13 mg/L
150 > < 200	6,0 > < 7,0	11 mg/L	13 mg/L	15 mg/L
200 > < 300	6,0 > < 7,0	13 mg/L	15 mg/L	17 mg/L
300 > < 400	6,0 > < 7,0	15 mg/L	17 mg/L	19 mg/L
400 > < 500	6,0 > < 7,0	17 mg/L	19 mg/L	21 mg/L
500 > < 600	6,0 > < 7,0	19 mg/L	21 mg/L	23 mg/L
600 > < 800	5,0 > < 7,0	21 mg/L	23 mg/L	25 mg/L
800 > < 1000	5,0 > < 7,0	23 mg/L	25 mg/L	28 mg/L
1000 > < 1500	5,0 > < 7,0	25 mg/L	28 mg/L	32 mg/L
1500 > < 2000	5,0 > < 7,0	28 mg/L	32 mg/L	35 mg/L
2000 > < 2500	5,0 > < 7,0	32 mg/L	35 mg/L	40 mg/L

Fonte: Motta (2015), adaptado pelo autor.

Em uma ETA (Estação de Tratamento de Água) com capacidade de  $100 \text{ L s}^{-1}$ , a despesa com reagentes foi de cerca de 30,8% do custo anual de operação (MIERZWA et al., 2008). Salmona e Reis Junior (2011) observaram um aumento de 210% no custo diário do coagulante sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) entre a turbidez de 1 NTU e 10 NTU, sendo que entre a turbidez de 1 NTU e 100 NTU o aumento do custo foi de 441%.

Reis (2004) observou relação entre o percentual de cobertura florestal em bacias e o custo de tratamento da água do manancial, sendo que das sete ETAs consideradas, as três localizadas em bacia com maior cobertura florestal (acima de 15%) apresentaram custos específicos de produtos químicos inferiores a R\$ 20,00  $\text{m}^{-3}$  e as duas com cobertura florestal abaixo de 10% apresentaram custos acima de R\$ 80,00  $\text{m}^{-3}$ .

## 2.2 PROCESSOS HIDROLÓGICOS, USO DO SOLO E FONTES DE TURBIDEZ

A turbidez da água em um ponto é influenciada pelas características da bacia a montante. A precipitação é o fator mais importante na geração de turbidez de origem difusa em bacias rurais, por sua ação mecânica na desagregação, deslocamento e carreamento das partículas de solo.

Contudo, a interação da precipitação com a superfície é influenciada pela cobertura vegetal, pelas características do solo e conformação do terreno, elementos que modelam a trajetória da água entre os processos de interceptação, infiltração e escoamento superficial.

### 2.2.1. Precipitação

A precipitação é toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (BERTONI; TUCCI, 2007). Dos processos hidrológicos atuantes em uma bacia hidrográfica, a precipitação pluvial é o que apresenta maior influência na geração de turbidez, pela ação mecânica das gotas e seu potencial desagregador da estrutura da camada superficial do solo. As características de intensidade e duração da precipitação têm efeitos diferentes e complementares, com relação às dinâmicas erosivas.

A intensidade é a grandeza relativa ao quanto choveu em uma determinada unidade de tempo. Uma precipitação de 100 mm em um dia é diferente de uma precipitação de 100 mm em uma hora. Cada um destes eventos terá uma energia cinética ( $E_c$ ) diferente (2032,86 J m<sup>-2</sup>, no primeiro caso e 2695,87 J m<sup>-2</sup> no segundo), sendo que a liberação desta energia se dá ao longo de 24 horas no primeiro evento e em apenas uma hora no segundo. Conseqüentemente, estes dois eventos pluviais terão também um potencial erosivo diferente (SANTOS; MONTENEGRO, 2012, WISHMEIER; SMITH, 1958). O tamanho das gotas tem relação direta com a energia cinética da precipitação, em que gotas maiores impactam o solo com maior energia que gotas menores (ANTONIO, 2009).

A duração é também uma característica da precipitação que apresenta importância, em associação com a intensidade. Para a carga total de sedimentos e sólidos em suspensão em uma bacia na região dos Pirineus (Espanha) a correlação com a duração da precipitação foi significativa, o que não ocorreu com a intensidade da precipitação (LÓPEZ-TARAZÓN et. al., 2010).

### **2.2.2. Interceptação**

A interceptação é a retenção de parte da precipitação, pela vegetação ou outro anteparo, sendo posteriormente perdida para atmosfera por evaporação (TUCCI, 2007). É um processo dependente tanto da vegetação, quanto do regime de precipitação e características climáticas.

Em bacias com precipitações de baixa intensidade e curta duração, a interceptação pode atingir valores elevados. Em plantios florestais de coníferas na Escócia, a interceptação anual variou de 9 a 33%, de acordo com o espaçamento de plantio (TEKLEHAIMANOT et al., 1991). Em uma floresta de mata atlântica no Estado de São Paulo, foi encontrado que a interceptação perfazia 18,6% da precipitação total (ARCOVA et al., 2003).

No sudeste da Espanha, a interceptação variou entre 22 e 35%, em cobertura de gramíneas e gramíneas com coníferas, respectivamente (BELLOT et al., 2001).

Este fator pode influenciar a comparação da turbidez com a precipitação, visto que uma proporção variável da precipitação pode ser perdida por este processo. Outro efeito da interceptação é a redução da velocidade das gotas de chuva. Mesmo que atravesse o dossel, a pluviosidade atinge o solo com velocidade reduzida, conseqüentemente, com menor energia cinética.

### **2.2.3. Infiltração e escoamento superficial**

A precipitação que atinge o solo irá converter-se em infiltração ou escoamento superficial, de acordo com as características do solo, do uso do solo e conformação do terreno.

Infiltração é a passagem da água da superfície para o interior do solo, sendo dependente da quantidade de água disponível, da superfície, da natureza, Estado e manejo do solo (SILVEIRA et.al., 2007, BRANDÃO et. al., 2006). A infiltração será maior, quanto maior for a disponibilidade de água da precipitação, até que a intensidade de precipitação exceda a capacidade de infiltração, ocorrendo o armazenamento superficial e, posteriormente, ocorra o escoamento superficial.

Segundo Tucci (2007), “o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície até encontrar uma calha definida”. O escoamento superficial é influenciado pela precipitação, relevo, cobertura vegetal, estradas, áreas edificadas e impermeáveis. Da mesma forma que ocorre com a infiltração, a quantidade de água disponível é fator determinante na dinâmica do escoamento superficial, que tende a crescer com o aumento da intensidade e duração da precipitação.

Os fatores relacionados ao solo são relativos as características físico-químicas, como: estrutura, textura, estabilidade de agregados, mineralogia e composição química, características que influenciam a condutividade hidráulica (BRANDÃO et al., 2006; SILVEIRA et al., 2007). Ekwue e Harrilal (2010) mediram infiltrações médias de 6,2, 5,8 e 4,2 mm em Trindade e Tobago, em três solos com teores de argila de 18,1, 30,6 e 46,3% respectivamente.

O manejo do solo também tem grande importância por seu potencial em alterar as características das suas camadas superficiais. Diferentes

sistemas de manejo e preparo de um Nitossolo Vermelho distroférico (semeadura direta, convencional com arado de discos e com grade pesada) provocaram alteração na porosidade, influenciando a velocidade de infiltração básica (VIB), aferida em 29,20, 19,01 e 19,92 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente (GONÇALVES; MORAES, 2012). Os autores constataram que a porosidade esta diretamente relacionada com a presença de poros alongados, que representaram a maior porção da porosidade.

Tratamentos superficiais também influenciam a infiltração e o escoamento superficial. A aplicação de cinco doses vinhaça em solo com textura franco-arenosa (0, 200, 250, 300 e 350 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) provocou a redução da taxa de infiltração básica de 120 mm h<sup>-1</sup>, para solo sem tratamento, para 60 mm h<sup>-1</sup>, para a dose máxima, devido às características de impermeabilização que a vinhaça conferiu ao solo (DALRI et al., 2010).

A aplicação de composto orgânico aumentou a infiltração e diminuiu o escoamento superficial em todas as combinações testadas de declividade e compactação superficial (EKWUE; HARRILAL, 2010). A proteção do solo com cobertura vegetal reduziu o escoamento superficial e perda de solo com diferentes níveis de compactação (ADEKALU et al., 2006), enquanto a compactação superficial mostrou-se como fator de redução da infiltração e aumento do escoamento superficial (ADEKALU et. al., 2006; EKWUE; HARRILAL, 2009). O relevo influencia a infiltração e o escoamento superficial, sendo que maiores declividades propiciam o escoamento superficial, em detrimento da infiltração.

A quantidade de água presente no solo também influencia a capacidade de infiltração. O estado anterior de umidade do solo ocasionou diferença média de 25,8% na taxa de infiltração em floresta Amazônica (DANTAS et al., 2011)

### 2.3. INTERPOLAÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO – KRIGAGEM

Os dados de pluviosidade são obtidos de forma pontual em pluviômetros. A espacialização desses dados é necessária para a estimação dos valores de precipitação nas áreas não amostradas, o que pode ser

conseguido pela modelagem dos padrões espaciais usando técnicas de interpolação (FORTIN; DALE, 2005).

A krigagem é um dos métodos mais eficientes para a espacialização de dados de pluviosidade. Avaliando-se cinco interpoladores para a espacialização da precipitação média mensal na região da bacia do Rio Itapemirim, ES, encontrou-se desempenho superior da krigagem com modelo de semivariograma esférico, comparada com inverso da potência da distância (IDW, com potencia dois), vizinhança natural, *spline* regularizada e *Topo to Raster*, tendo o menor quadrado médio do erro (GARDIMAN JUNIOR et al., 2012). Para a espacialização da precipitação média anual no Estado do Espírito Santo, a krigagem com os modelos de semivariograma exponencial, esférico e linear obteve maior coeficiente de correlação quando comparada com o inverso da potência da distância, com potências de dois a seis (CASTRO et al., 2010).

A krigagem também apresentou bom ajuste para a previsão de precipitação anual no Estado de São Paulo (CARVALHO et al., 2012), precipitação anual na Turquia (BOSTAN et al., 2012), precipitações quinzenais em Guiné-Bissal (DANFÁ et al., 2011), mensais na Sicília (DI PIAZZA et al., 2011) e na interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o Estado de São Paulo (MELLO et al., 2003).

#### 2.4. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Modelo numérico de terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, como dados de relevo, informações geológicas ou meteorológicas. O modelo digital de elevação (MDE) é um tipo de MNT de grade regular que armazena informação de altitude da superfície da terra (FELGUEIRAS; CAMARA, 2001). É uma técnica de representação da superfície que pode ser obtida de dados coletados em campo, derivados de outros produtos como cartas altimétricas, ou via sensoriamento remoto, o que envolve a coleta de dados por sensor aerocarregado ou orbital, ativo ou passivo.

Os MDE mais difundidos atualmente, por sua definição espacial, abrangência de cobertura e facilidade de obtenção, são o *Space Shuttle Radar*

*Topographic Mission* (SRTM), *Topodata* e *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER). Os três são fornecidos de forma gratuita.

O MDE SRTM foi obtido por interferometria de radar (sensor ativo), na faixa de micro-ondas, com acurácia vertical absoluta de 16 m, sendo o par estereoscópico obtido de forma simultânea (RABUS et al., 2003). Os dados eram disponibilizados até novembro de 2014 com resolução espacial de três arcos de segundo, aproximadamente 90 m. Posteriormente passaram a ser distribuídos com resolução de um arco de segundo, aproximadamente 30 m.

O MDE ASTER foi obtido pelo sensor passivo orbital *Visible and Near Infrared* (VNIR) de fabricação japonesa a bordo do satélite Terra. O MDE ASTER resulta do imageamento estereoscópico no comprimento de onda do infravermelho próximo e tem resolução espacial de 30 m (TACHIKAWA et. al., 2011).

O MDE Topodata é um produto oriundo do refinamento do MDE SRTM, obtido por técnicas de geoestatística (Krigagem), com resolução espacial de 30 m (VALERIANO; ROSSETTI, 2010), além da utilização de pontos de controle, para aumento da precisão.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizado na região Sudeste, o Estado do Espírito Santo tem área de 46.184,1 Km<sup>2</sup>, ao longo do litoral. A baixada Espírito Santense abrange 40% do território, no domínio da planície costeira. A região montanhosa abrange 60 % do território (Figura 1). Apresenta dois tipos principais de clima, o tropical chuvoso e o mesotérmico úmido (MORAES, 1974).

Inserido na região hidrográfica do Atlântico Sudeste em sua porção Centro-sul e na região hidrográfica do Atlântico Leste em sua porção Norte, o Espírito Santo possui 12 bacias hidrográficas, sendo cinco de domínio da União (rios Doce, Itapemirim, São Mateus, Itabapoana e Itaúnas) e sete estaduais (rios Piraquê-Açu, Santa Maria, Guarapari, Reis Magos, Jucu, Benevente e Rio Novo).

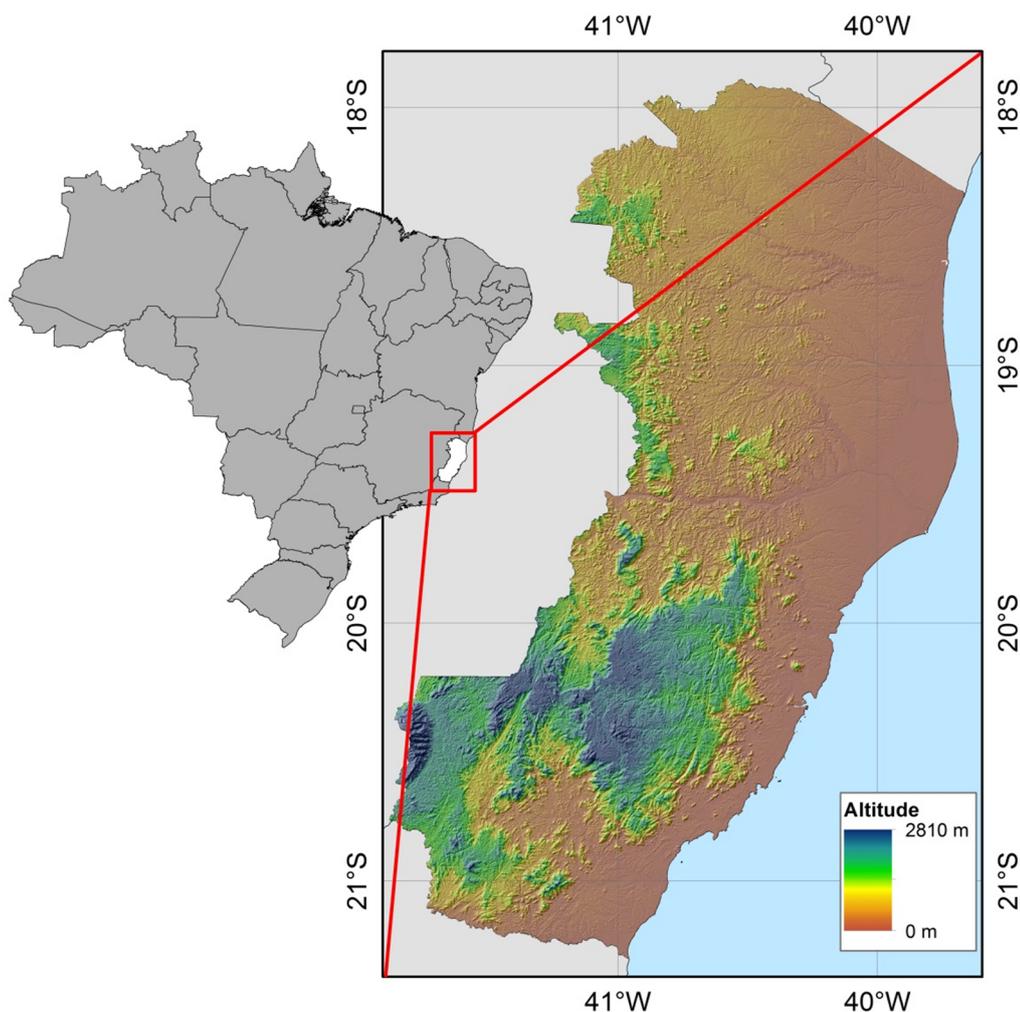


Figura 1. Relevo do Estado do Espírito Santo (FONTE: elaborado pelo autor)

### 3.2. OBTENÇÃO DOS DADOS DE TURBIDEZ

Os dados de turbidez ( $T_r$ ) foram obtidos junto à Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN. A CESAN mantém um controle diário de turbidez, com medições durante o dia, para operação e controle de insumos de cada Estação de Tratamento de Água (ETA) que opera no Estado. As medições são realizadas com intervalo de duas horas utilizando turbidímetros. Entretanto, os dados diários são descartados periodicamente, sendo armazenados apenas os dados médios mensais. Utilizou-se os dados de turbidez média mensal para um período de 48 meses, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009. Este período foi escolhido compreendendo um período de 24 meses antes e 24 meses depois do levantamento dos dados de uso do solo.

Algumas ETAs operadas pela CESAN são alimentadas por bacias que extrapolam os limites do Estado e não foram utilizadas, em função da abrangência estadual dos dados de uso do solo. Outras ETAs são abastecidas por mais de um corpo hídrico, sem que haja diferenciação das leituras de turbidez, motivo pelo qual também não foram selecionadas. A localização das 50 ETA selecionadas pode ser vista na Figura 2. Todas as ETAs são identificadas por um código de quatro dígitos, não sequencial. Na Tabela 2 são apresentados as coordenadas, municípios e rios das ETAs utilizadas.

Tabela 2. Coordenadas, município e rio em que estão localizadas as cinquenta ETAs utilizadas

<b>CODIGO</b>	<b>LONGITUDE</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>MUNICIPIO</b>	<b>RIO</b>
0003	345.667	7.757.595	CARIACICA	RIO DUAS BOCAS
0010	344.371	7.737.667	VIANA	RIO JACARANDA
0011	355.269	7.767.379	SERRA	RIO STA MARIA DA VITORIA
0012	358.195	7.743.448	VILA VELHA	RIO JUCU
0500	339.286	7.998.989	MUCURICI	RIO ITAUNAS - BARRAGEM
0501	337.537	7.993.501	PONTO BELO	CORREGO MONTANHA
0502	336.237	8.016.009	MUCURICI	CORREGO DO TENENTE
0503	339.615	7.980.202	PONTO BELO	CORREGO LAGEADO
0601	384.203	7.982.401	PEDRO CANARIO	CORREGO CABOCLO
0702	365.728	7.987.020	MONTANHA	CORREGO VINHATICO
0900	375.583	7.956.978	PINHEIROS	RIO ITAUNINHAS
0901	350.298	7.974.929	PINHEIROS	RIO DO SOBRADO - UNIAO
1000	303.134	7.969.266	ECOPORANGA	BARRAGEM - RIO 2 DE SETEMBRO
1001	319.259	7.978.173	ECOPORANGA	CORREGO DO FACAO
1005	288.539	7.971.231	ECOPORANGA	BARRAGEM - CORREGO DA PRATA
1100	365.692	7.954.572	BOA ESPERANCA	CORREGO PERLETE
1200	301.112	7.924.584	BARRA DE SAO FRANCISCO	RIO ITAUNAS
1202	284.402	7.962.794	AGUA DOCE DO NORTE	CORREGO TARDANO
1300	291.679	7.948.535	AGUA DOCE DO NORTE	RIBEIRAO BOM JESUS
1400	278.495	7.914.109	MANTENOPOLIS	RIBEIRAO MANTENINHA
1401	288.491	7.910.605	MANTENOPOLIS	CORREGO STA LUZIA
1700	324.598	7.937.333	VILA PAVAO	CORREGO SOCORRO
2000	337.851	7.893.506	SAO GABRIEL DA PALHA	RIO SAO JOSE
2100	316.226	7.900.008	AGUIA BRANCA	RIO SAO JOSE
2200	304.435	7.874.080	PANCAS	RIBEIRAO PANQUINHAS
2201	302.370	7.901.399	PANCAS	RIO SAO JOSE
2900	287.401	7.892.174	ALTO RIO NOVO	CORREGO RIO NOVO
3201	327.220	7.807.250	SANTA TERESA	RIO 05 DE NOVEMBRO
3204	326.220	7.816.000	SAO ROQUE DO CANAA	RIO SANTA MARIA DO RIO DOCE
3205	315.770	7.797.035	SANTA TERESA	RIO SANTA MARIA DO RIO DOCE
3402	351.660	7.786.433	FUNDAO - SANTA LEOPOLDINA	RIO DO NORTE
5500	313.697	7.784.635	SANTA MARIA DE JETIBA	RIO SAO SEBASTIAO DE CIMA
5502	307.854	7.778.965	SANTA MARIA DE JETIBA	CORREGO ABELDT
5503	296.906	7.770.620	SANTA MARIA DE JETIBA	RIO SANTA MARIA DA VITORIA
5600	338.173	7.778.570	SANTA LEOPOLDINA	RIO DA PRATA
5800	278.270	7.776.238	AFONSO CLAUDIO	RIO DO PEIXE
5806	288.490	7.785.440	AFONSO CLAUDIO	CORREGO SERRA PELADA
5901	224.031	7.748.634	IRUPI	RIO PARDINHO
6000	249.276	7.734.642	MUNIZ FREIRE	RIBEIRAO VARGEM GRANDE
6001	250.498	7.752.236	MUNIZ FREIRE	CORREGO SAO JOSE
6100	266.452	7.748.010	CONCEICAO DO CASTELO	RIO CASTELO
6201	324.646	7.742.503	MARECHAL FLORIANO	RIO JUCU BRACO SUL
6206	284.850	7.746.187	DOMINGOS MARTINS	RIO JUCU BRACO NORTE
6207	308.246	7.756.120	DOMINGOS MARTINS	CORREGO AREINHA
6500	284.596	7.798.106	LARANJA DA TERRA	RIO GUANDU
7400	272.380	7.725.570	CASTELO	RIO CAXIXE
7800	318.582	7.701.737	ANCHIETA	RIO PONGAL
8000	315.649	7.694.032	PIUMA	RIO ICONHA
9700	221.901	7.661.809	BOM JESUS DO NORTE	RIO ITABAPOANA
9900	282.999	7.674.664	PRESIDENTE KENNEDY	RIO MUQUI DO NORTE

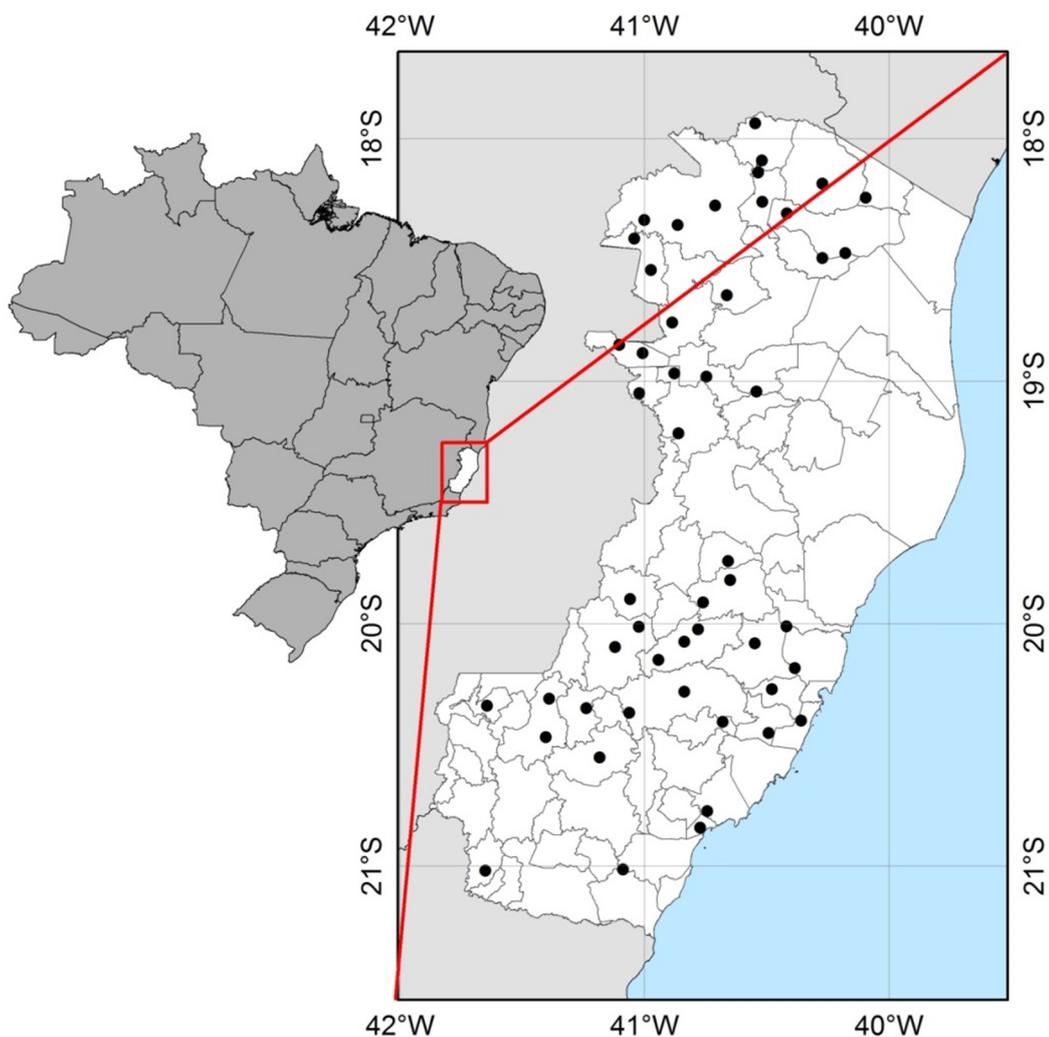


Figura 2. Localização das 50 ETAs operadas pela CESAN no Estado do Espírito Santo (FONTE: elaborado pelo autor)

### 3.3. OBTENÇÃO DOS DADOS DE USO DO SOLO

Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA), em formato vetorial, oriundos da fotointerpretação de levantamento aerofotogramétrico do Estado do Espírito Santo, realizado entre 2007 e 2008.

No Quadro 1 são apresentadas as classes originais e as classes utilizadas neste estudo (denominadas de variáveis). As variáveis Agrt, Agrp, Rfta e Pfta, foram formadas pela união de outras classes, a saber: as classes “macega” e “mata - estágio inicial de regeneração” foram unidas formando a variável Rfta. As classes referentes as culturas agrícolas “abacaxi”, “banana”,

“cana” e “cultivo agrícola - outros temporários” foram unidas formando a variável Agrt. As classes referentes as culturas agrícolas “mamão”, “coco”, “café” e “cultivo agrícola - outros permanentes” foram unidas formando a variável Agrp. As classes “reflorestamento - eucalipto”, “reflorestamento - pinus” e “reflorestamento - seringueira” foram unidas formando a classe Pfta.

Quadro 1. Classes de uso do solo e variáveis de uso do solo utilizadas

<b>Classes IEMA</b>	<b>Var. uso solo</b>
Aflor. Rochoso	-
Área Edificada	Edif
Brejo	-
Campo Rup./Alt.	Crup
Cult. Agr - Abacaxi	Agrt
Cult. Agr - Banana	
Cult. Agr - Cana-de-açúcar	
Cult. Agr - Outr. Temp.	Agrp
Cult. Agr - Café	
Cult. Agr - Coco-da-Bahia	
Cult. Agr - Mamão	
Cult. Agr - Outr. Perm.	
Mineração	Mnrc
Mangue	-
Massa D'água	-
Mata Nativa	Fta
Mata - Estágio Inic. Regen.	Rfta
Macega	
Outros	-
Pastagem	Pstg
Reflorest. - Eucalipto	Pfta
Reflorest. - Pinus	
Reflorest. - Seringueira	
Solo Exposto	Solo

Fonte: Tabela de atributos da camada vetorial fornecida pelo IEMA, adaptado pelo autor.

Os dados de vias urbanas (Vurb), vias interurbanas asfaltadas (Vias) e vias interurbanas de terra (Vitr) foram obtidos da base de dados geográficos do Estado do Espírito Santo - Geobases (GEOBASES, 2002).

Os arquivos vetoriais foram recortados com a ferramenta *clip* utilizando as bacias como máscara de corte e tiveram as áreas calculadas com a ferramenta *calculate geometry* do ArcGis 10.1.

### 3.4. OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Oteve-se os dados de precipitação de 110 estações pluviométricas distribuídas pela área de estudo, com dados médios mensais consistidos, sendo 94 no Espírito Santo, 12 em Minas Gerais, três no Rio de Janeiro e uma na Bahia (Figura 3). Os dados médios mensais de 48 meses, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009, foram utilizados para obter estimativas de precipitação nas bacias hidrográficas.

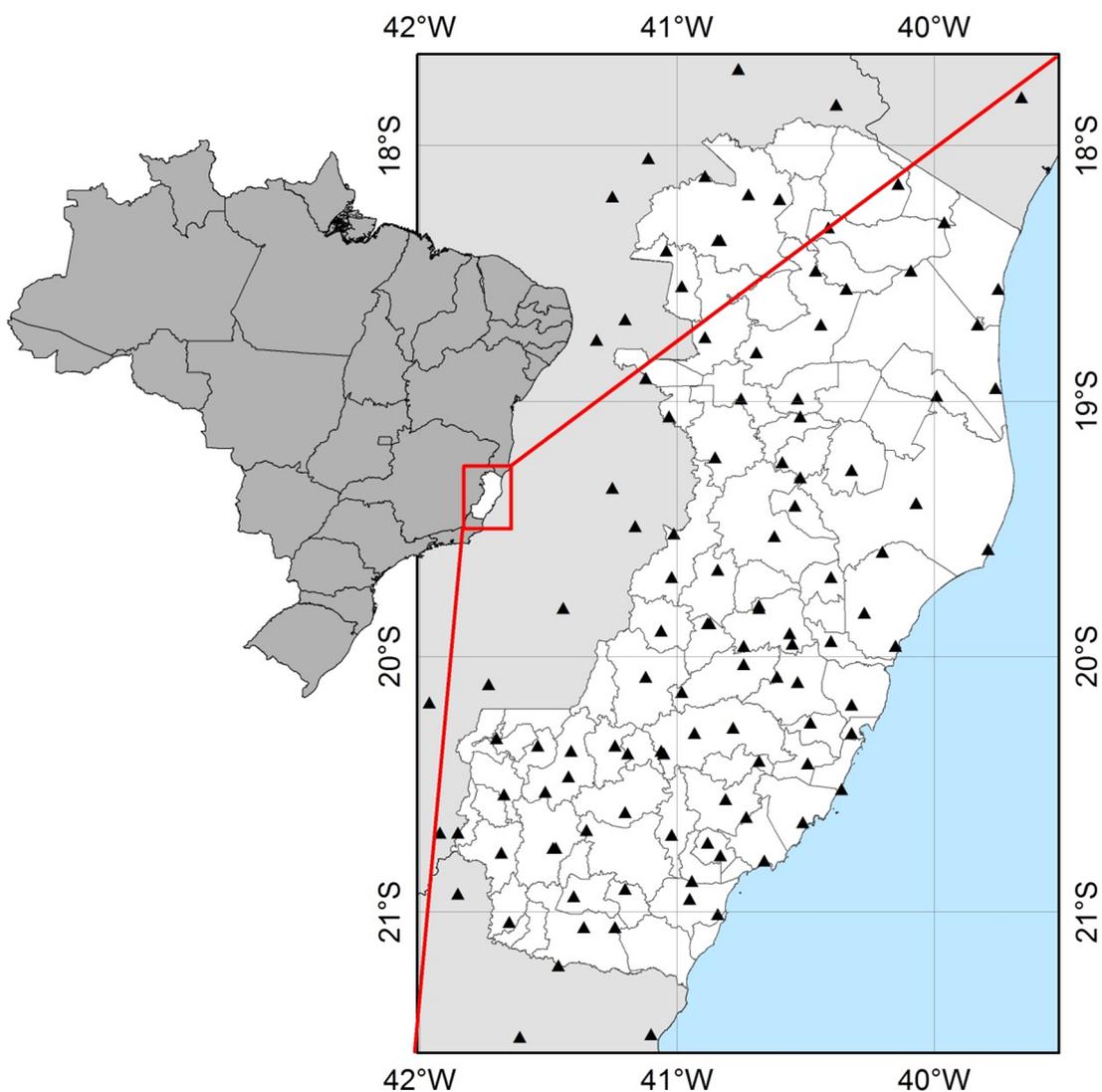


Figura 3. Distribuição espacial das estações pluviométricas. (FONTE: Elaborado pelo autor)

Os registros pluviométricos médios mensais foram interpolados, para espacialização dos valores. As interpolações foram feitas na extensão *Geostatistical Analyst*, do ArcGis 10.1. O método de interpolação utilizado para gerar as superfícies de precipitação média estimada foi a Krigagem ordinária. Os dados de precipitação dos 48 meses foram ajustados para os 11 modelos de semivariograma, utilizando o módulo de otimização do *Geostatistical Analyst*.

Para avaliar o desempenho dos 11 modelos, foi utilizada a técnica de validação cruzada, a qual consiste em retirar um a um os valores observados e estimá-los com o modelo em questão, sendo escolhido o modelo com o menor valor de raiz do quadrado médio do erro (RQME, em mm mês<sup>-1</sup>).

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (O_i - E_i)^2}{J}} \quad (1)$$

em que:

$O_i$  = i-ésimo valor observado;

$E_i$  = i-ésimo valor estimado pelo modelo de interpolação;

$J$  = número de observações.

Os modelos de semivariograma ajustados foram circular, exponencial, gaussiano, efeito furo, j-bessel, k-bessel, pentaesférico, racional quadrático, esférico, estável e tetraesférico (Circ, Expn, Gaus, Efur, Jbes, Kbes, Pesf, Racq, Esfr, Estv e Tesf, respectivamente).

### 3.5. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Todas as etapas referentes a preparação do MDE, obtenção do modelo digital de elevação hidrologicamente consistido (MDEHC), delimitação das bacias, foram realizadas no programa ArcGis 10.1.

### **3.5.1. Modelo digital de elevação - MDE**

Para a delimitação das bacias hidrográficas foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), por sua resolução espacial e desempenho na delimitação de regiões costeiras e áreas pouco onduladas como a planície costeira. Esta característica torna este MDE mais preciso na delimitação de divisores de águas de bacias ou partes de bacias localizadas em regiões de relevo mais plano, como é o caso de parte da área de estudo.

O MDE ASTER é disponibilizado em cenas de 60 x 60 km. As cenas necessárias para a cobertura de toda a área de estudo foram obtidas diretamente no site <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>, sendo unidas em um mosaico com a ferramenta *mosaic* do programa ArcGis 10.1. Os dados foram em seguida projetados para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) com a ferramenta *project raster* do programa ArcGis 10.1.

### **3.5.2. Modelo digital de elevação hidrologicamente consistido - MDEHC**

Para uma melhor representação do terreno, o MDE foi reconicionado hidrologicamente, utilizando a metodologia AGREE, do pacote *Arc Hydro Tools*. A metodologia AGREE consiste no condicionamento do MDE ajustando a elevação da superfície, para que seja consistente com uma rede hidrográfica conhecida. Esta metodologia foi aplicada de forma automatizada com o uso da extensão computacional *Arc Hydro Tools*, no programa ArcGis 10.1.

A hidrografia mapeada é transformada para formato matricial e o valor de altitude das células correspondentes é subtraído de 1.000 metros. O talude é modelado em um *buffer* de 5 células (150 metros) ao longo do canal resultante, de forma gradual em ambos os lados, com o descaimento de 10 metros. O relevo é condicionado dessa forma, obtendo-se o MDEHC, garantindo coincidência espacial com a rede hidrográfica de referência.

Este procedimento proporciona uma melhor delimitação das bacias, embora altere a declividade do terreno, em função da alteração da forma do

talude. Por este motivo, os valores de declividade média (Dm) foram obtidos com a utilização do MDE não condicionado.

### 3.5.3. Delimitação das Bacias Hidrográficas

Após a etapa anterior, a ferramenta *fill* foi executada para preencher eventuais depressões no relevo, o que assegura a continuidade do escoamento ao longo do MDEHC. Em seguida utilizou-se a ferramenta *flow direction* para identificar a direção de escoamento de cada célula, dentre 8 direções possíveis.

A ferramenta *flow accumulation* foi utilizada para calcular o acúmulo de escoamento entre células, sendo armazenado em cada célula o valor correspondente ao número de células convergentes até aquele ponto. Em seguida, com a ferramenta *stream definition* foram identificadas as células que tenham acumulado uma área mínima de drenagem, limite este predeterminado pelo usuário, gerando assim a rede de drenagem numérica. A área mínima de drenagem utilizada foi 100 células, equivalente a 90.000 m<sup>2</sup>.

A hidrografia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE ) disponível para o Estado do Espírito Santo é derivada do Projeto Radam Brasil e, em função das características de coleta de dados do referido projeto, apresenta duas escalas ao longo do Estado, 1:100.000 na porção sul e 1:250.000 na porção norte, referentes divisão das folhas SF. 23/24 e SE. 24. Em função da diferença de escala da hidrografia ao longo do Estado do Espírito Santo, o limite escolhido para o *stream definition* foi intermediário entre as escalas (Figura 4).

Também em função desta diferença de escala, nenhuma característica morfométrica que envolvesse diretamente a rede de drenagem (densidade de drenagem, p. ex.) foi utilizada, uma vez que tais medidas são dependentes da escala do mapeamento (SILVEIRA et al., 2007). A hidrografia gerada desta forma foi utilizada para a definição do curso d'água principal, necessário para o cálculo da sinuosidade (SIN) e declividade do curso d'água principal (D1). Como a informação sobre o curso d'água principal inexistia na hidrografia de referência na maioria dos casos, este procedimento teve como objetivo a padronização dos resultados obtidos. O curso d'água principal foi definido

como sendo o segmento de mais alta ordem até a origem, pelo ordenamento de Shreve (1967). O ordenamento de Shreve é tal que, em cada segmento inicial (de uma nascente até a primeira intercessão) atribui-se o valor unitário e a cada intercessão subsequente os valores se somam, de modo que no exutório, a ordem do canal principal é o somatório do número de trechos iniciais.

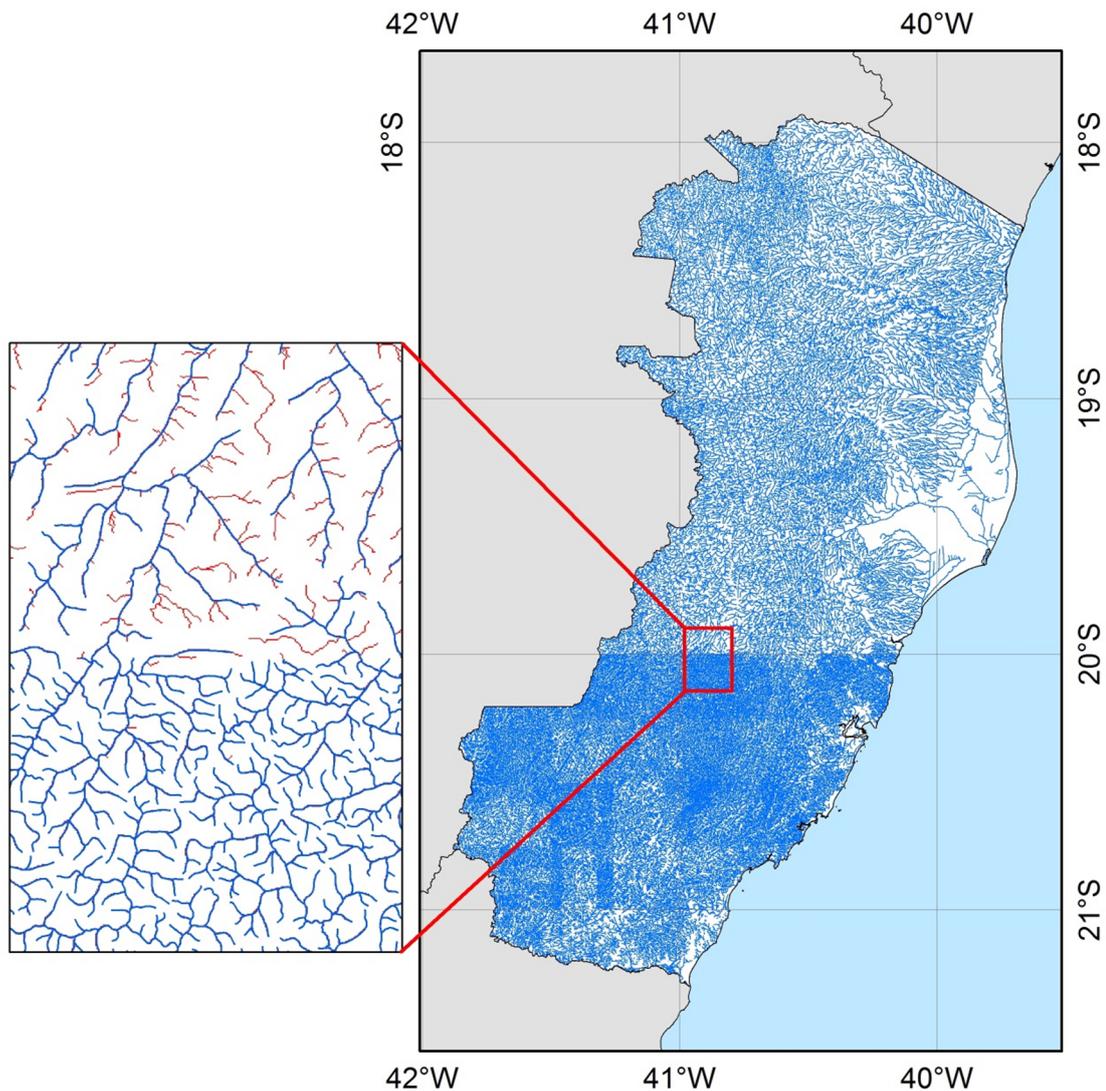


Figura 4. Diferença de escala da hidrografia de referência (azul – 1:100.000 na porção sul e 1:250.000 na porção norte) e hidrografia numérica intermediária (vermelha), obtida por limiar de acúmulo de células convergentes (100 células = 90.000 m<sup>2</sup>).

Com a identificação da rede de drenagem, a localização dos pontos de adução das ETA é definida na rede de drenagem gerada na etapa anterior com

a ferramenta *snap pour point* que define o exutório. Por fim, a ferramenta *watershed* foi utilizada para delimitar a bacia, em função do exutório e da direção do escoamento, pela identificação das células que contribuem para o fluxo naquele ponto, gerando um arquivo matricial contendo essas células.

A bacia gerada desta forma é então vetorizada, tendo os contornos suavizados, com a utilização da ferramenta *raster to polygon*. Este é o perímetro utilizado para o recorte de todas as outras características de cada bacia. Os processos de obtenção do MDEHC e delimitação das bacias são apresentados na Figura 5.

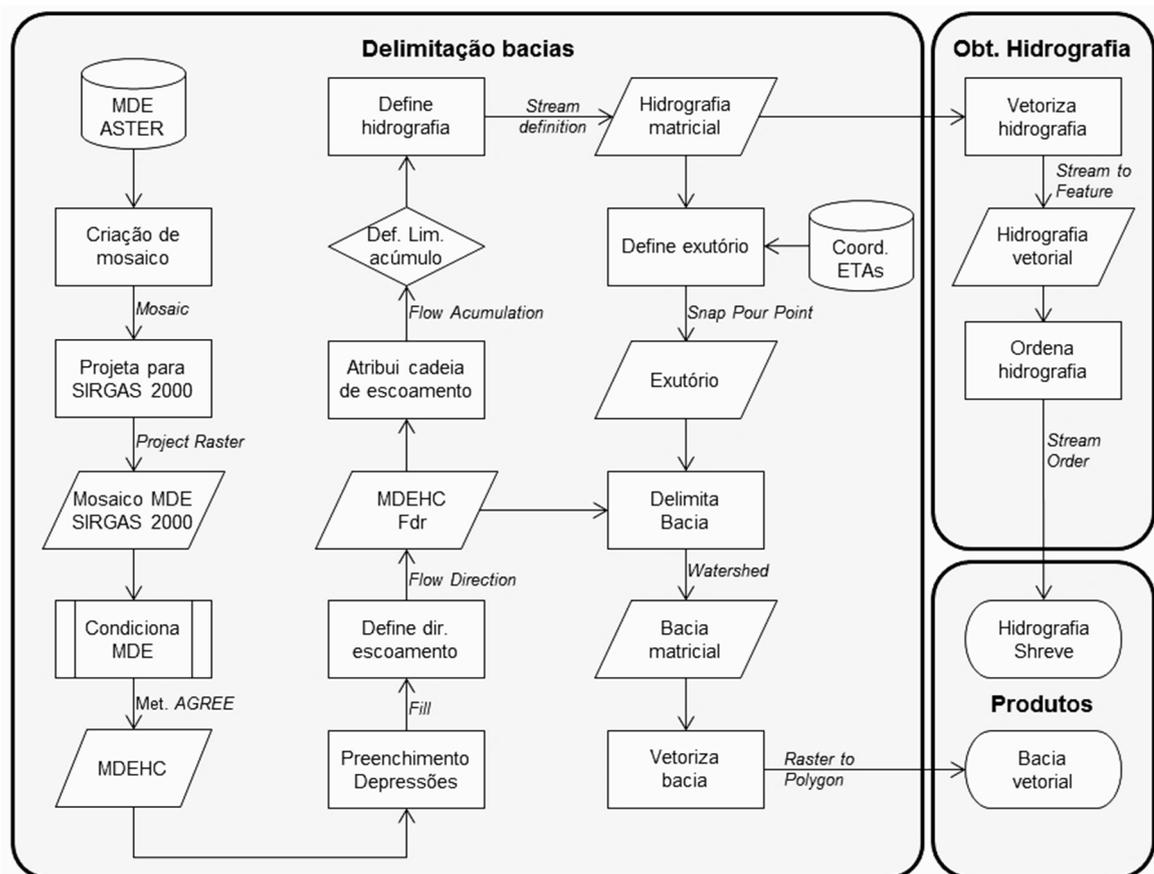


Figura 5. Fluxograma de obtenção do MDEHC, delimitação das bacias hidrográficas e ordenamento da hidrografia

### 3.6. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Foram calculadas as seguintes características morfométricas:

- Área (Ar);

- Perímetro (Pr);
- Coeficiente de compacidade (Kc);
- Fator de forma (Kf);
- Sinuosidade do curso d'água (SIN);
- Declividade do curso d'água (S1);
- Índice de alongamento (KI);
- Amplitude altimétrica ( $\Delta a$ );
- Razão de relevo (Rr);
- Declividade média (Dm).

As variáveis morfométricas área (km<sup>2</sup>) e perímetro (m) foram obtidas com a utilização da ferramenta *calculate geometry* do ArcGis 10.1, a variável declividade média (Dm) foi obtida diretamente das propriedades da camada matricial de declividades, obtida no referido software. As demais foram calculadas em planilhas eletrônicas, de acordo com as seguintes equações:

Coeficiente de compacidade (Kc);

$$Kc = 0,28 \frac{Pr}{\sqrt{Ar}} \quad (2)$$

em que :

Kc = coeficiente de compacidade (adimensional);

Pr = perímetro (km);

Ar = área (km<sup>2</sup>).

Fator de forma (Kf);

$$Kf = \frac{Ar}{Lax^2} \quad (3)$$

em que:

Kf = fator de forma (adimensional);  
Lax = comprimento axial da bacia (km).

Sinuosidade do curso d'água (SIN);

$$SIN = \frac{L_p}{L_t} \quad (4)$$

em que:

SIN = sinuosidade do curso d'água principal (adimensional);  
Lp = comprimento do canal principal (km);  
Lt = comprimento do talvegue (km).

Declividade do curso d'água (S1);

$$S1 = \frac{(Cota_{mx} - Cota_{mn})}{L_p} \quad (5)$$

em que:

S1 = declividade do curso d'água ( $m \ m^{-1}$ );  
Cota<sub>mx</sub> = altitude da nascente (m);  
Cota<sub>mn</sub> = altitude do ponto de captação (m).

Índice de alongamento (KI);

$$KI = \frac{L}{l_r} \quad (6)$$

em que:

KI = índice de alongamento (adimensional);

L = lado maior do retângulo equivalente (km);  
lr = lado menor do retângulo equivalente (km).

Amplitude altimétrica ( $\Delta a$ );

$$\Delta a = a_{mx} - a_{mn} \quad (7)$$

em que:

$\Delta a$  = amplitude altimétrica (m);  
 $a_{mx}$  = altitude do ponto mais elevado da bacia (m);  
 $a_{mn}$  = altitude do ponto mais baixo da bacia (m).

Razão de relevo ( $R_r$ );

$$R_r = \frac{\Delta a}{Lax} \quad (8)$$

em que:

$R_r$  = razão de relevo ( $m \ m^{-1}$ );

### 3.7. ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados consistiu em: padronização dos dados para diagnóstico de multicolinearidade e agrupamento das bacias; descarte de variáveis colineares via matriz de correlação; agrupamento das bacias quanto as características morfométricas e de uso do solo; correlação parcial entre pares de características e turbidez nos grupos formados e análise de regressão nas bacias, entre Tr e Pm e regressão múltipla das variáveis selecionadas nos grupos formados. A análise dos dados foi realizada em planilhas eletrônicas e no software Statistica 10 (StatSoft, 2011).

### 3.7.1. Padronização dos dados

A utilização de variáveis com unidades de medida e escalas diferentes requer a padronização dos dados, uma vez que algumas variáveis têm valores com amplitude numérica muito elevada.

A padronização utilizada é um procedimento que transforma os dados originais em dados com média zero ( $\bar{X} = 0$ ) e variância igual a unidade ( $s^2 = 1$ ), conforme Equação 2:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{s(X_j)} \quad (9)$$

Em que:

$Z_{ij}$  = i-ésimo valor padronizado da j-ésima variável;

$X_{ij}$  = i-ésimo valor da j-ésima variável;

$\bar{X}_j$  = média da j-ésima variável;

$s(X_j)$  = desvio padrão da j-ésima variável.

### 3.7.2. Diagnóstico de multicolinearidade

Quando um fenômeno ou grandeza é quantificado de maneiras diversas, as variáveis resultantes contêm proporções da variação real do objeto observado. Quanto maior a proporção em comum representada por duas variáveis, maior é a colinearidade entre elas. A multicolinearidade é causada pelo efeito combinado de duas ou mais variáveis (HAIR et al., 2009, JOLLIFFE, 2002).

Esta característica é indesejável para a análise dos dados. Na análise de agrupamento, age como um fator implícito de peso entre variáveis colineares (HAIR et al., 2009). Na regressão múltipla, pode levar a estimativas erradas dos coeficientes, obtendo-se até mesmo sinais opostos (HAIR et al.,

2009), podendo ocorrer interpretações equivocadas de fenômenos. Na correlação parcial pode levar a valores equivocados de correlação.

O diagnóstico de colinearidade foi realizado por meio do número da condição (NC). Este índice é obtido realizando a divisão do maior pelo menor autovalor obtido a partir da matriz das variáveis, sendo que valores abaixo de 100 indicam multicolinearidade fraca a moderada, valores entre 100 e 1000 indicam multicolinearidade moderada a forte e valores acima de 1000 indicam multicolinearidade severa (MONTGOMERY et al., 2012). Quando o NC ultrapassou o limite de colinearidade fraca para moderada ( $NC > 100$ ), decidiu-se pelo descarte de variáveis para redução da colinearidade entre os dados.

### **3.7.3. Descarte de variáveis e agrupamento das bacias**

Nas situações em que a multicolinearidade entre as variáveis foi maior que o aceitável ( $NC > 100$ ), realizou-se o descarte de variáveis redundantes antes da execução dos agrupamentos das bacias semelhantes. Foi realizado três agrupamentos das bacias, um utilizando as variáveis morfométricas, outro utilizando as variáveis de uso do solo e o terceiro utilizando todas as variáveis.

O descarte de variáveis foi realizado com base na matriz de correlação de Pearson ( $r^2$ ) das variáveis. A cada etapa foi realizado o seguinte procedimento: das variáveis com o maior valor de correlação entre si, foi selecionada para descarte a que apresentava menor correlação com Tr; após o descarte repetiu-se o cálculo do NC, se o valor fosse acima de 100, repetia-se o procedimento, até o NC estar abaixo de 100.

As bacias foram agrupadas quanto a similaridades das variáveis, com o objetivo de verificar o desempenho da regressão múltipla nos grupos, buscando uma forma mais eficiente de agrupamento das bacias.

O agrupamento de bacias por características semelhantes foi feito via análise de agrupamento hierárquico (AGH). O critério de agrupamento foi o método de Ward, que realiza uma análise de variância entre os indivíduos, agrupando os que resultarem em menor variância no grupo formado. A cada passo repete-se a análise de variância entre os indivíduos resultantes, sendo que os grupos formados em etapas anteriores são considerados indivíduos nas etapas subsequentes. Este método reduz a variância total dentro de cada

grupo (HAIR et al., 2009). Usou-se a distância euclidiana quadrática (Equação 4) como medida de similaridade, com corte a 30% de similaridade. O corte a 30% teve o objetivo de não formar grupos muito pequenos, o que conferiria variabilidade insuficiente a algumas variáveis, impedindo a regressão múltipla.

A distância euclidiana quadrática é dada por:

$$De_{X1 \times X2} = \sum_{i=1}^n (X1_i - X2_i)^2 \quad (10)$$

em que:

De = distancia euclidiana quadrática;

i = i-ésimo valor da variável

### 3.7.4. Análise de correlação parcial

A correlação parcial pode fornecer informações sobre o comportamento sinérgico de variáveis, evidenciando a variação conjunta (NAGHETTINI e PINTO, 2007). Foi calculado a correlação parcial existente entre cada variável (morfométricas e de uso do solo) e a turbidez, fixando o efeito das outras variáveis (inclusive a precipitação).

Desta forma, invertendo-se a matriz de correlações de Person, obtém-se a matriz C:

$$C = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & \cdots & C_{1,j} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & \cdots & C_{2,j} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ C_{i,1} & C_{i,2} & \cdots & C_{i,j} \end{bmatrix}$$

E a correlação parcial é dada por:

$$r_{Tr,j,m} = - \frac{C_{Tr,j}}{\sqrt{C_{Tr,Tr} C_{j,j}}} \quad (11)$$

### **3.7.5. Regressão entre turbidez e precipitação**

Com o objetivo de obter equações que estimem a turbidez em função da precipitação, para cada bacia foi realizada a regressão entre a turbidez média mensal ( $T_r$ ) e a precipitação média mensal ( $P_m$ ). Foram testados os modelos de regressão linear, exponencial, logarítmico, potência e polinomial de segundo grau, para período seco (abril a setembro), para o período chuvoso (outubro a março) e para o período todo. O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) foi utilizado como critério de escolha do melhor ajuste.

O ajuste destas equações constitui uma ferramenta de simples utilização, visto que utiliza apenas a estimativa de  $P_m$  para predição de  $T_r$ .

### **3.7.6. Regressão múltipla**

Com o objetivo de obter equações preditivas da turbidez média mensal em função da precipitação e das características morfométricas e de uso do solo, foi realizada a análise de regressão linear múltipla entre as variáveis independentes e a turbidez, em todas as bacias reunidas e nos grupos formados pelas AGH. O ajuste das regressões foi feito utilizando o procedimento *Forward Stepwise*.

Este é um procedimento automatizado de seleção de variáveis preditivas, que utiliza uma série de testes F, aplicado a inclusão gradual de variáveis ao modelo, começando pelas mais correlacionadas com a variável dependente, via matriz de correlação de Pearson. A cada etapa é inserida a variável com maior correlação com a variável dependente, sendo feito um teste F de Fischer para avaliar a significância da variável no modelo (MONTGOMERY et al., 2012), a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. INTEROPOLAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Na Tabela 3 estão sumarizados os valores de RQME para os interpoladores ajustados para cada mês.

Tabela 3. Raiz do quadrado médio do erro (RQME) dos modelos de semivariograma ajustados por validação cruzada, com destaque para os menores valores por mês

Ano	Mês	Modelos de Semivariograma										
		Circ	Expn	Gaus	Efur	Jbes	Kbes	Pesf	Racq	Esfr	Estv	Tesf
2006	Jan	17,35	17,44	17,33	17,73	<b>17,13</b>	17,35	17,21	17,37	17,26	17,33	17,21
	Fev	27,59	27,63	27,57	<b>27,06</b>	27,46	27,50	27,62	27,49	27,55	27,52	27,53
	Mar	57,59	57,46	57,31	<b>55,92</b>	57,34	57,27	57,63	57,39	57,64	57,27	57,63
	Abr	40,66	40,08	41,08	40,90	40,69	41,60	<b>40,05</b>	40,82	40,41	40,09	40,16
	Mai	9,68	9,69	9,68	<b>9,28</b>	9,65	9,69	9,70	9,62	9,69	9,68	9,69
	Jun	16,97	16,69	16,94	17,43	<b>16,34</b>	16,66	16,82	16,57	16,97	16,67	16,77
	Jul	<b>10,47</b>	10,99	11,00	11,05	10,75	10,99	10,74	10,86	10,72	10,95	10,70
	Ago	17,99	18,23	17,97	17,96	<b>17,95</b>	18,11	18,02	18,12	18,00	18,10	18,01
	Set	23,23	23,15	23,10	23,98	23,15	23,15	23,33	<b>22,97</b>	23,29	23,14	23,32
	Out	38,54	37,83	38,23	39,98	38,08	37,59	37,96	<b>37,21</b>	38,25	37,61	38,06
	Nov	56,55	57,08	56,40	56,55	<b>55,91</b>	56,59	56,84	56,87	56,80	56,46	56,92
	Dez	67,13	66,68	67,21	67,73	<b>66,56</b>	66,70	68,05	66,81	67,12	66,92	67,03
2007	Jan	51,29	51,29	51,25	52,05	50,62	51,30	51,35	<b>50,49</b>	51,37	51,25	51,37
	Fev	48,47	48,27	48,52	<b>48,24</b>	48,52	48,50	48,45	48,31	48,43	48,52	48,43
	Mar	24,22	24,89	23,67	24,13	<b>23,55</b>	23,86	24,36	24,32	24,31	23,72	24,36
	Abr	38,87	38,92	38,73	38,90	<b>38,66</b>	38,67	38,74	38,75	38,85	38,73	38,77
	Mai	19,52	19,57	19,53	19,78	19,63	19,67	19,50	<b>19,45</b>	19,54	19,65	19,53
	Jun	7,94	7,92	7,94	7,88	<b>7,81</b>	7,91	7,93	7,91	7,94	7,91	7,94
	Jul	9,09	9,13	9,06	<b>9,02</b>	9,06	9,14	9,09	9,16	9,08	9,19	9,08
	Ago	21,12	20,90	21,20	21,18	21,18	20,76	21,04	20,70	21,08	<b>20,68</b>	21,06
	Set	18,09	18,18	18,01	19,87	18,07	17,99	18,04	<b>17,83</b>	18,06	17,98	18,04
	Out	26,79	26,24	26,35	<b>25,60</b>	26,22	26,35	26,43	26,12	26,84	26,35	26,56
	Nov	42,97	44,07	43,10	43,04	<b>42,87</b>	43,19	43,25	44,39	43,16	43,10	43,17
	Dez	52,76	52,95	52,65	<b>52,35</b>	53,13	52,94	52,86	52,78	52,86	53,00	52,76
2008	Jan	<b>46,75</b>	47,13	47,27	48,19	47,15	47,28	46,93	47,26	47,03	47,32	47,00
	Fev	58,24	58,43	58,42	56,74	<b>56,73</b>	58,41	58,51	58,32	58,39	58,39	58,48
	Mar	56,60	57,47	57,31	<b>55,59</b>	56,27	57,31	56,54	56,62	56,83	57,15	56,78
	Abr	40,84	41,74	39,97	40,28	40,17	40,07	40,84	40,69	40,83	<b>39,97</b>	40,82
	Mai	19,60	19,63	19,55	19,87	<b>19,28</b>	19,55	19,57	19,50	19,60	19,58	19,57
	Jun	22,92	23,15	22,79	<b>22,44</b>	22,88	22,83	22,93	23,02	22,97	22,79	22,92
	Jul	11,99	12,05	11,97	11,98	11,96	11,99	11,93	12,10	<b>11,89</b>	11,97	11,90
	Ago	10,53	10,60	10,46	10,61	<b>10,42</b>	10,46	10,52	10,46	10,53	10,46	10,52
	Set	40,20	39,54	40,19	<b>38,56</b>	39,47	40,08	39,57	39,48	40,05	40,19	39,69
	Out	53,16	<b>52,71</b>	53,78	53,93	54,63	53,76	52,87	52,83	52,99	53,77	52,83
	Nov	87,74	87,42	87,75	87,79	87,98	<b>87,34</b>	87,75	87,52	87,94	87,36	87,63
	Dez	61,17	60,23	62,58	61,42	60,91	60,26	60,72	<b>60,16</b>	60,70	60,18	60,71
2009	Jan	<b>59,76</b>	59,94	60,08	64,34	60,91	59,95	60,31	59,94	59,88	59,90	60,17
	Fev	34,53	34,87	34,21	34,66	<b>34,06</b>	34,17	34,54	34,70	34,53	34,21	34,54
	Mar	<b>55,00</b>	55,79	55,50	57,01	55,96	55,41	55,58	55,69	55,17	55,50	55,56
	Abr	<b>48,99</b>	49,30	49,50	49,84	49,30	49,33	49,18	49,61	49,06	49,47	49,07
	Mai	17,59	17,54	17,58	<b>17,15</b>	17,56	17,58	17,61	17,51	17,60	17,58	17,61
	Jun	17,25	17,34	17,08	17,06	<b>16,97</b>	17,07	17,27	17,08	17,28	17,08	17,27
	Jul	20,51	20,35	20,52	20,26	<b>20,05</b>	20,33	20,56	20,10	20,56	20,29	20,58
	Ago	20,57	20,67	20,73	20,69	20,48	20,72	20,67	<b>20,44</b>	20,62	20,72	20,70
	Set	16,40	16,66	16,45	15,97	<b>15,84</b>	16,40	16,42	16,45	16,41	16,40	16,41
	Out	78,14	78,69	78,30	<b>77,41</b>	78,47	78,31	78,44	78,33	78,24	78,36	78,44
	Nov	61,83	61,73	61,76	<b>61,54</b>	61,61	61,62	61,54	61,78	61,62	61,63	61,54
	Dez	<b>58,02</b>	58,60	58,99	59,08	59,04	58,85	58,22	59,04	58,16	58,58	58,21

Fonte: elaborado pelo autor

## 4.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS

As bacias hidrográficas delimitadas totalizaram uma área de 10344,13 km<sup>2</sup>, o equivalente a aproximadamente 22,5% da área total do Estado do Espírito Santo, abrangendo altitudes de 2 m a 1994 m acima do nível do mar. A maior bacia tem área de 2054,71 km<sup>2</sup> e a menor bacia tem área de 1,14 km<sup>2</sup>. Na Figura 6 está apresentada a distribuição espacial das cinquenta bacias hidrográficas. As características morfométricas e de uso do solo das bacias são apresentadas na Tabela 4.

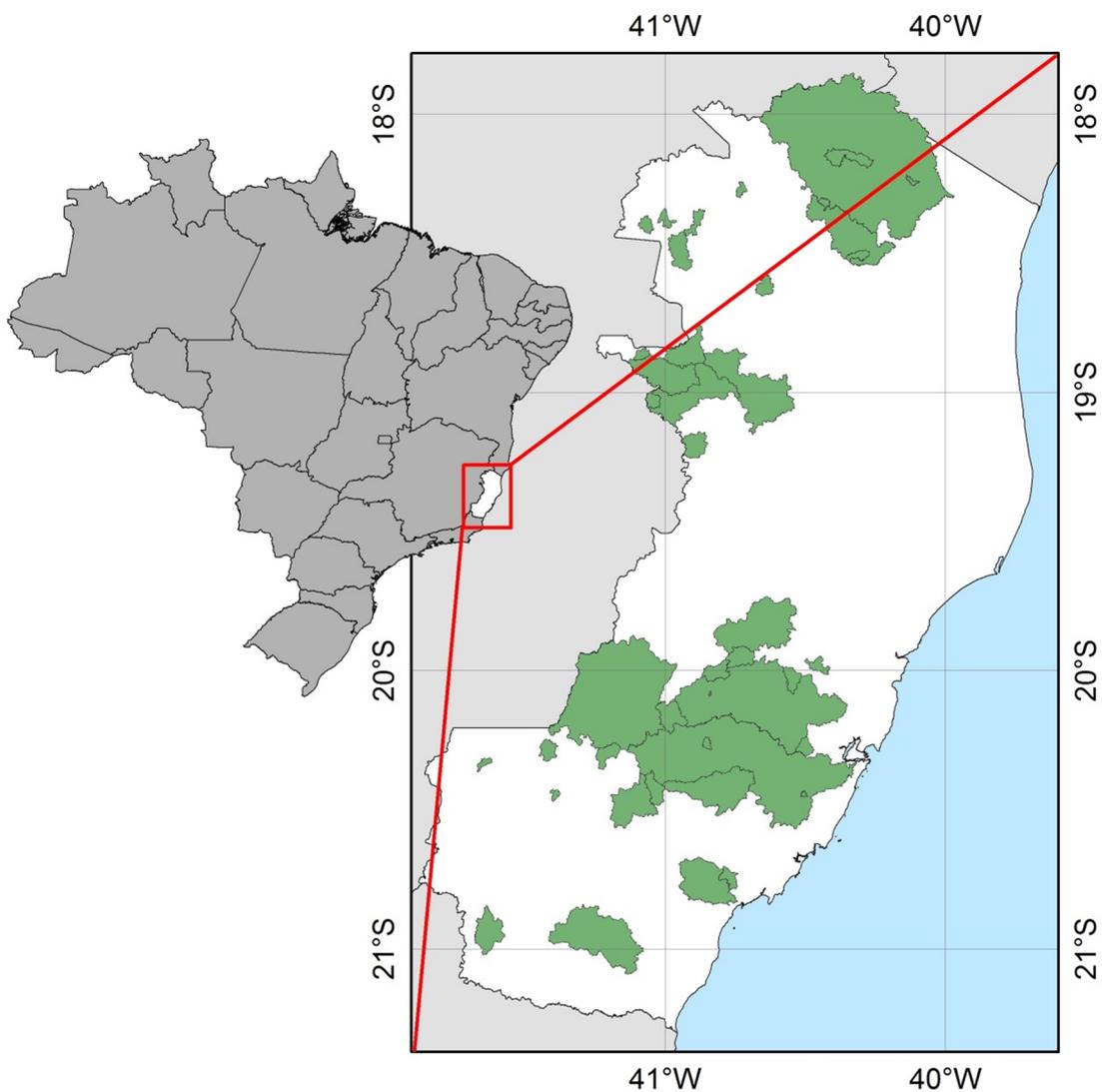


Figura 6. Distribuição espacial das cinquenta bacias hidrográficas delimitadas. (FONTE: Elaborado pelo autor)

Tabela 4. Médias de turbidez média mensal, precipitação média mensal, características morfométricas e de uso do solo das cinquenta bacias delimitadas a partir dos pontos de adução da CESAN. As ETAs são identificadas por um código de quatro dígitos, na coluna à esquerda

Código Cesan	Uso do solo (%)															Morfométricas									
	Tr	Pm	Vurb	Vias	Vitr	Edif	Crup	Mnrc	Rfta	Fta	Pstg	Pfta	Solo	Agrp	Agrt	Pr	Ar	Kc	Kf	SIN	S1	KI	Δa	Rr	Dm
	NTU	mm														km	Km <sup>2</sup>	-	-	-	m m <sup>-1</sup>	-	m	m m <sup>-1</sup>	%
0003	4,0	130,8	0,0	0,0	314,2	0,0	0,0	0,0	1,6	96,3	0,1	0,0	0,0	0,0	26,4	29,6	1,36	0,75	1,55	52,6	3,58	627	1,00	33,5	
0010	22,9	124,6	0,0	0,0	1513,6	0,0	0,0	0,0	4,1	17,7	71,0	0,0	0,0	0,2	10,4	3,5	1,56	0,55	1,45	29,7	5,52	247	0,99	24,7	
0011	39,6	118,0	36,9	54,1	1499,1	0,3	0,0	0,0	17,6	38,6	15,2	5,4	1,2	8,1	283,9	1397,0	2,13	0,30	1,93	9,4	12,28	1457	0,21	35,4	
0012	47,3	122,9	420,2	66,9	1293,2	2,0	0,0	0,0	16,5	33,8	20,9	5,8	1,0	5,9	364,3	2054,7	2,25	0,30	2,42	7,1	13,96	1889	0,23	31,9	
0500	12,4	85,7	858,8	57,5	781,0	4,5	0,0	0,0	0,9	1,2	71,2	0,1	4,1	5,8	31,8	27,0	1,71	0,54	2,00	4,3	7,12	212	0,30	13,8	
0501	50,8	87,8	0,0	0,0	862,6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	90,0	0,0	0,0	0,2	19,8	9,4	1,81	0,33	1,26	8,0	8,25	236	0,44	19,9	
0502	23,8	85,8	1173,4	0,0	946,1	4,2	0,0	0,0	0,5	3,4	76,1	0,0	2,2	5,6	13,2	6,4	1,46	0,42	1,27	12,6	4,53	116	0,30	7,9	
0503	19,2	84,4	0,0	0,0	1721,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	92,5	0,0	0,4	0,0	6,5	1,8	1,33	0,48	1,52	19,0	3,30	97	0,49	17,8	
0601	22,0	84,8	0,0	0,0	1041,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,8	0,0	0,0	30,9	18,8	7,2	1,96	0,23	1,23	8,1	10,06	91	0,16	12,0	
0702	13,5	81,6	317,4	83,2	724,1	1,5	0,0	0,0	1,9	4,7	68,9	0,5	3,4	8,7	68,1	70,9	2,27	0,23	1,50	4,9	14,24	378	0,22	15,3	
0900	24,4	71,0	57,4	46,5	825,8	0,3	0,0	0,0	4,2	4,6	53,9	2,9	2,7	8,2	161,8	379,7	2,32	0,27	1,40	2,8	14,97	470	0,13	15,1	
0901	10,6	76,3	0,0	0,0	1038,0	0,0	0,0	0,0	3,2	2,4	82,6	0,0	0,0	2,3	21,2	11,0	1,78	0,63	1,52	10,5	7,91	148	0,35	14,0	
1000	20,1	106,7	0,0	0,0	1756,8	0,1	0,0	0,0	10,4	6,9	68,1	2,4	0,3	0,3	46,6	32,1	2,30	0,26	1,79	21,7	14,68	610	0,54	29,4	
1001	23,7	92,7	0,0	0,0	1110,2	0,0	0,0	0,1	1,7	4,1	82,8	0,0	0,1	0,9	22,5	14,4	1,66	0,81	1,21	7,8	6,57	327	0,77	23,9	
1005	21,1	100,8	41,2	0,0	914,1	0,1	0,5	0,7	18,6	0,4	57,5	0,0	0,0	0,0	31,5	22,0	1,88	0,33	2,07	31,3	9,08	634	0,77	43,9	
1100	21,3	80,2	95,6	124,3	797,0	0,5	0,0	0,0	7,1	3,4	47,1	1,8	1,5	20,9	31,3	23,0	1,83	0,28	1,41	7,1	8,49	135	0,15	14,6	
1200	58,0	95,2	89,4	0,0	1115,7	0,5	0,0	0,0	10,8	8,1	57,3	0,3	0,4	1,0	74,2	130,8	1,82	0,39	1,61	15,1	8,37	796	0,43	37,7	
1202	36,8	94,2	0,0	0,0	774,8	0,0	0,0	0,0	13,0	6,9	60,1	2,4	0,7	0,3	26,3	24,6	1,48	0,58	1,24	23,3	4,72	439	0,67	30,0	
1300	36,4	100,4	40,0	0,0	980,6	0,0	0,0	0,0	16,6	11,4	40,0	0,6	0,3	0,1	56,1	88,4	1,67	0,45	2,25	15,7	6,68	735	0,53	45,8	
1400	43,9	97,6	0,0	133,8	1125,4	0,0	0,0	0,0	14,5	9,3	51,9	0,7	1,0	0,6	22,6	18,5	1,47	0,69	1,63	42,8	4,63	486	0,93	35,7	
1401	3,3	51,8	0,0	0,0	1220,7	0,0	0,0	0,0	14,4	0,0	11,8	13,9	10,3	0,0	4,7	1,1	1,24	0,72	1,76	38,6	2,46	163	1,29	30,8	
1700	19,6	94,0	0,0	178,7	724,9	0,0	0,2	0,7	10,4	10,3	50,5	0,1	0,8	0,8	37,4	35,9	1,75	0,52	1,20	12,1	7,56	272	0,33	26,7	
2000	29,4	96,6	54,8	79,7	950,8	0,2	0,1	0,1	11,8	8,7	44,3	4,3	1,5	0,5	298,2	1023,1	2,61	0,24	1,62	6,9	19,52	885	0,14	34,3	
2100	40,6	92,7	66,9	83,6	969,9	0,3	0,0	0,0	13,1	7,8	44,6	5,6	1,7	0,6	176,7	566,2	2,08	0,32	1,40	10,0	11,61	845	0,20	35,1	
2200	39,4	96,5	0,0	152,3	919,3	0,0	0,2	0,0	12,6	6,3	43,8	4,1	0,2	0,1	46,2	71,4	1,53	0,68	1,54	36,8	5,22	713	0,70	40,8	
2201	26,1	71,0	45,7	69,3	1062,9	0,2	0,0	0,0	11,9	4,9	43,6	8,0	2,1	0,3	100,6	240,5	1,82	0,30	1,48	16,4	8,37	825	0,29	32,8	
2900	28,1	90,3	0,0	152,1	849,9	0,0	0,0	0,0	7,4	5,8	47,2	5,0	2,3	1,1	30,1	26,7	1,63	0,53	1,64	25,4	6,25	420	0,59	25,1	
3201	39,3	132,5	0,9	186,0	860,0	0,0	0,1	0,0	18,4	30,8	23,4	7,4	1,2	2,0	63,0	79,3	1,98	0,51	2,35	33,5	10,32	865	0,70	38,3	
3204	46,5	85,6	37,0	84,2	965,8	0,3	0,2	0,0	18,5	18,7	20,3	6,5	2,8	4,5	152,1	484,7	1,93	0,54	2,11	14,6	9,69	971	0,32	35,7	

Continua...

Tabela 4. Continuação

Código Cesan	Uso do solo (%)															Morfométricas									
	Tr	Pm	Vurb	Vias	Vitr	Edif	Crup	Mnrc	Rfta	Fta	Pstg	Pfta	Solo	Agrp	Agrt	Pr	Ar	Kc	Kf	SIN	S1	KI	Δa	Rr	Dm
	NTU	mm														km	Km <sup>2</sup>	-	-	-	m m <sup>-1</sup>	-	m	m m <sup>-1</sup>	%
3402	23,4	139,3	26,3	25,3	695,9	0,0	0,0	0,0	17,8	25,7	20,9	3,3	1,4	4,5	18,8	38,2	29,0	1,99	0,27	1,57	29,1	10,44	832	0,80	33,8
5500	33,7	102,6	0,0	0,0	1796,7	0,4	0,0	0,0	16,6	38,9	8,5	7,0	1,0	9,3	15,5	44,9	53,2	1,73	0,64	1,90	15,3	7,34	385	0,42	35,9
5502	16,5	110,4	0,0	0,0	1474,7	0,0	0,0	0,0	24,6	46,8	2,2	3,0	0,0	10,9	11,2	5,2	1,1	1,37	0,36	1,22	36,2	3,67	157	0,88	37,6
5503	6,3	104,4	0,0	0,0	2421,3	0,1	0,0	0,1	24,5	25,4	16,6	11,0	1,4	15,7	1,6	58,8	86,2	1,77	0,97	1,55	9,5	7,79	470	0,50	27,1
5600	13,6	153,1	0,0	0,0	1020,5	0,0	0,5	0,0	11,7	59,9	3,0	7,7	0,6	3,8	6,5	36,8	41,7	1,59	0,34	2,32	42,3	5,83	865	0,78	41,9
5800	56,2	116,0	4,9	4,2	1358,2	0,0	0,5	0,1	19,7	14,2	33,3	4,5	1,2	3,0	16,9	103,5	254,2	1,82	0,43	2,07	16,7	8,37	1149	0,47	38,1
5806	27,7	101,1	0,0	0,0	1603,8	0,0	0,3	0,3	16,7	16,2	27,7	0,3	1,3	1,1	21,1	12,1	6,5	1,33	0,46	1,58	140,4	3,30	754	2,01	42,9
5901	39,2	140,1	95,6	0,0	1416,2	0,0	0,0	0,0	7,9	8,4	23,3	3,1	0,4	1,0	49,9	21,7	13,3	1,66	0,88	2,60	30,2	6,57	362	0,93	33,7
6000	98,0	126,9	34,5	101,9	429,2	0,0	0,0	0,0	16,0	26,8	28,1	0,0	0,8	0,3	9,7	17,6	9,8	1,58	0,43	1,23	60,7	5,73	647	1,36	46,7
6001	14,9	125,0	0,0	0,0	1311,9	0,0	0,0	0,0	18,9	17,2	30,2	15,2	2,0	2,6	9,9	34,1	38,9	1,53	0,59	1,26	58,6	5,22	726	0,89	33,6
6100	34,5	125,8	0,0	241,3	1186,0	0,1	0,0	0,3	16,1	18,3	28,3	7,4	1,7	3,5	16,9	39,8	49,7	1,58	0,35	1,44	23,9	5,73	840	0,70	33,0
6201	48,8	120,4	14,4	136,8	1256,5	0,1	0,0	0,0	15,2	43,0	9,6	9,7	1,0	3,7	12,3	122,8	320,4	1,92	0,27	1,74	21,6	9,57	1311	0,38	36,6
6206	21,5	129,6	0,0	287,2	845,3	0,2	0,1	0,0	16,3	42,1	11,7	6,1	1,4	13,1	1,1	45,7	56,6	1,70	0,32	1,46	14,4	7,01	980	0,73	31,5
6207	18,2	112,8	0,0	0,0	1002,5	0,0	0,0	0,0	12,3	34,4	20,8	8,7	1,2	1,0	19,7	16,6	10,7	1,42	0,38	1,72	45,8	4,14	357	0,67	35,5
6500	116,1	108,5	51,2	29,6	1376,8	0,3	0,1	0,1	16,8	14,6	33,8	4,3	1,2	2,8	18,8	240,2	1332,1	1,84	0,71	2,37	9,7	8,60	1352	0,31	37,2
7400	122,7	129,8	0,0	65,4	1123,0	0,2	0,4	0,2	10,5	26,0	26,9	4,1	1,1	8,1	13,1	93,2	199,8	1,85	0,38	2,02	27,0	8,72	1776	0,77	35,0
7800	40,2	133,1	0,0	230,4	1552,7	0,2	0,0	0,0	8,9	10,4	51,7	4,1	0,2	11,0	10,4	35,5	33,1	1,73	0,38	1,75	22,2	7,34	588	0,63	30,4
8000	37,2	135,5	130,0	36,3	1218,4	0,5	0,0	0,0	11,5	12,4	49,7	2,3	0,2	7,1	12,1	100,6	261,7	1,74	0,43	1,74	24,9	7,45	1029	0,42	34,5
9400	36,7	125,3	15,9	0,0	1755,5	0,0	0,0	0,0	13,4	15,3	57,5	0,7	0,5	1,6	7,6	64,8	120,1	1,66	0,31	1,86	25,1	6,57	1052	0,53	33,8
9900	84,1	121,8	115,8	108,3	1072,6	0,4	0,0	0,0	9,8	16,6	56,1	0,6	0,3	2,1	8,1	143,7	480,2	1,84	0,43	2,00	8,2	8,60	1240	0,37	35,6

Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.3. REGRESSÃO ENTRE TURBIDEZ E PRECIPITAÇÃO NAS BACIAS

As equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para o período de Janeiro de 2006 a Dezembro de 2009, para cada bacia, para o período chuvoso e seco, são apresentadas nas figuras 7 a 19. A correlação entre a precipitação e a turbidez teve grande variação entre as bacias, tanto considerando o período seco e chuvoso (abril a setembro e outubro a março, respectivamente), quanto para todo o período, havendo ajustes lineares, logarítmicos, exponenciais, polinomiais e potenciais, com  $r^2$  entre 0,01 e 0,89 para o período todo e  $r^2$  entre 0,01 e 0,96 para o período seco (abril a setembro) e 0,04 e 0,88 para o período chuvoso (outubro a março).

A relação entre Tr e Pm é um bom indicativo e pode ser usado para predição de níveis de turbidez. A utilização de apenas 48 meses para estas regressões pode ser um motivo para a reduzida precisão dos ajustes.

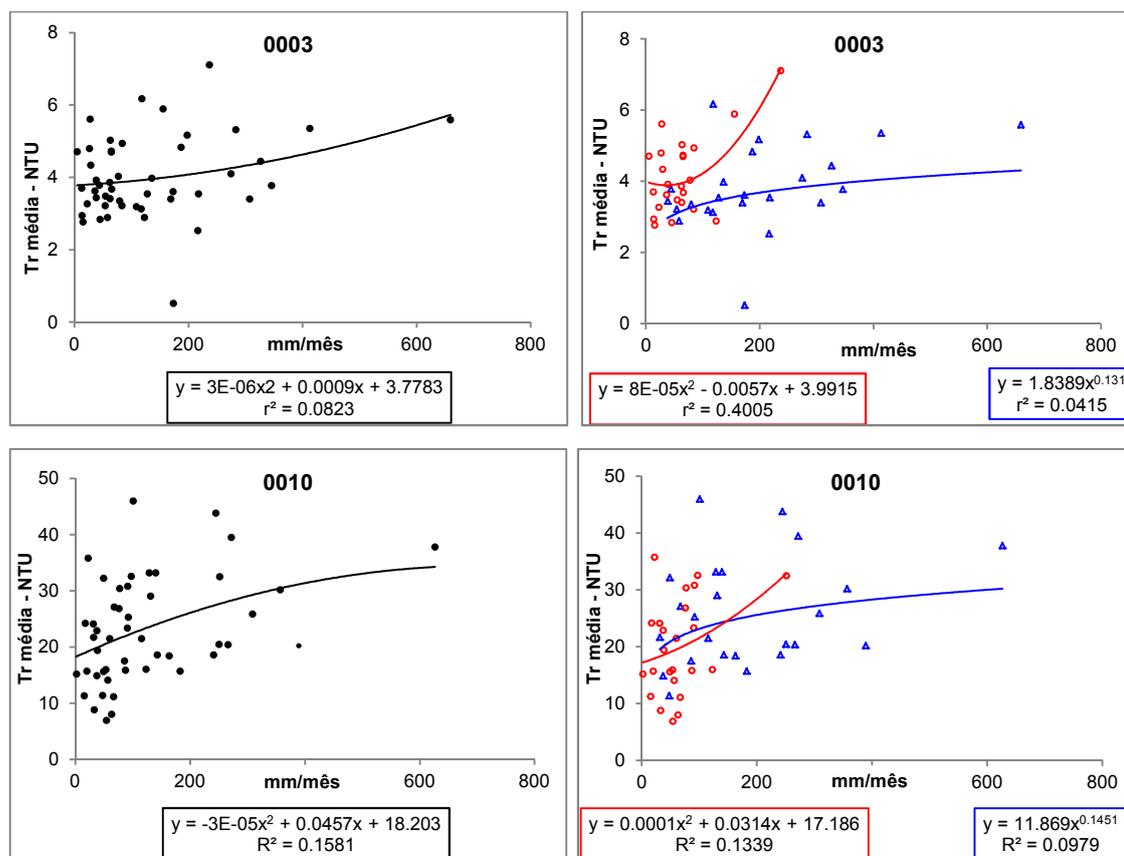


Figura 7. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0003 a 0010.

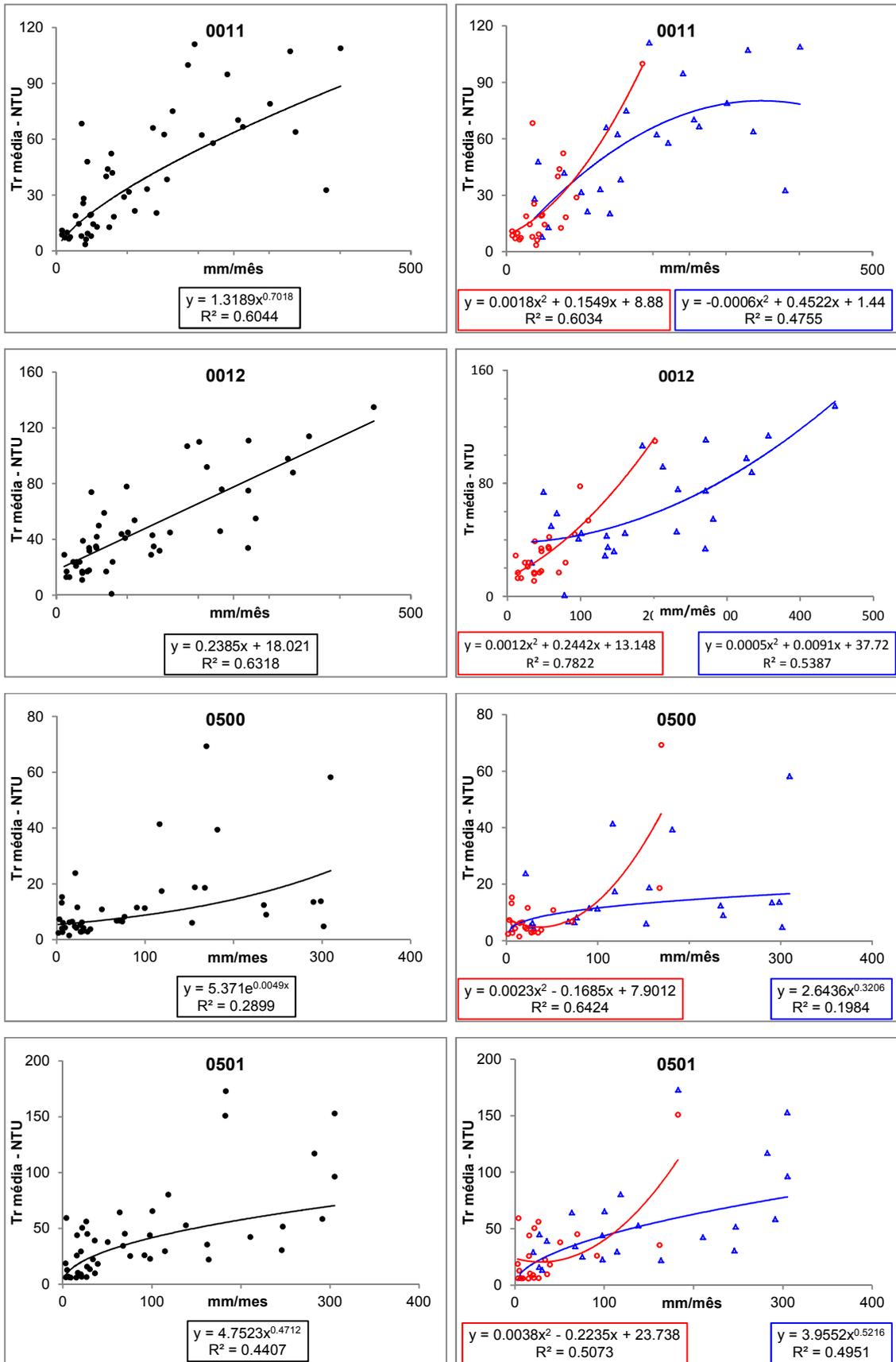


Figura 8. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0011 a 0501.

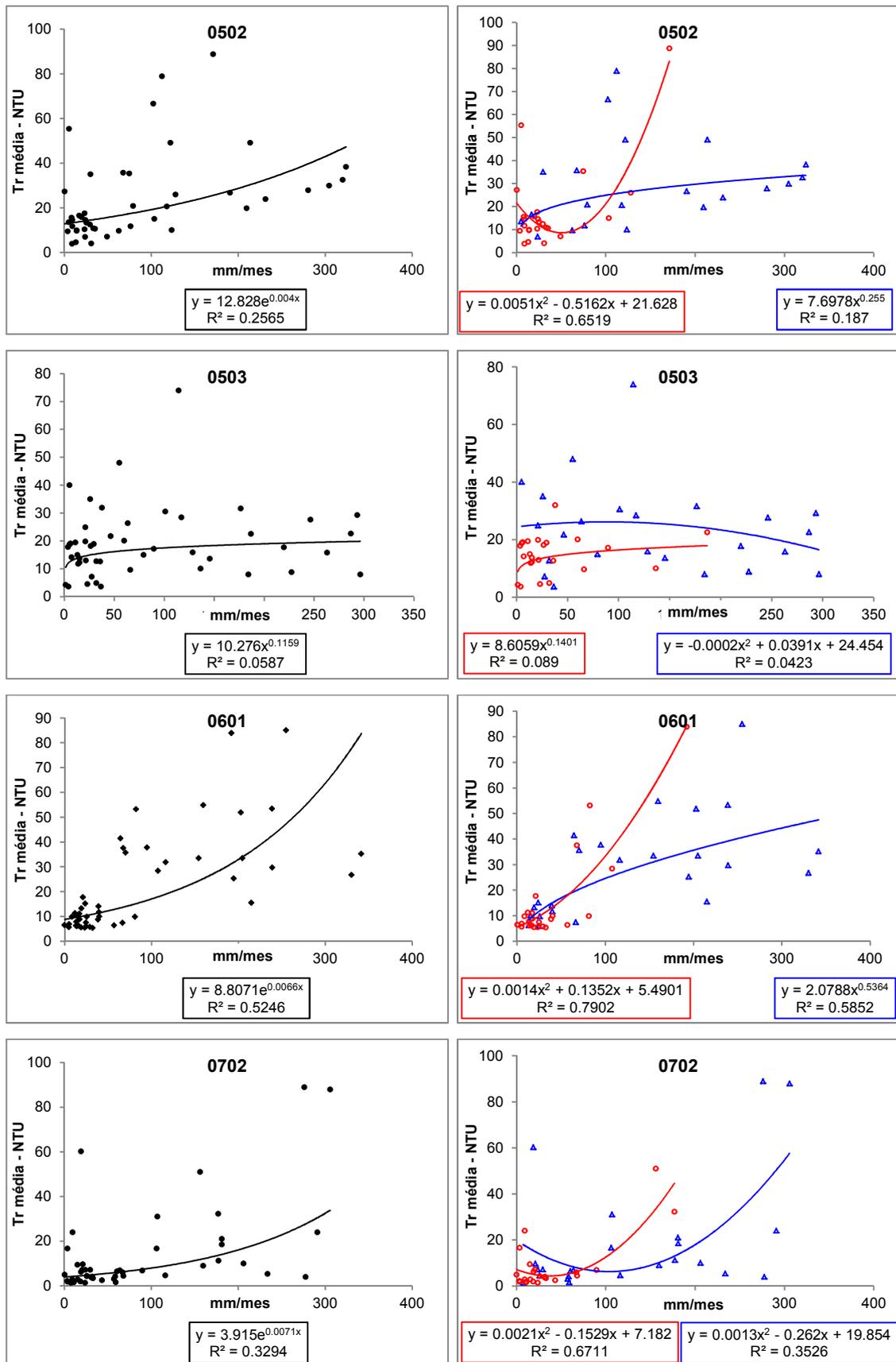


Figura 9. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0502 a 0702.

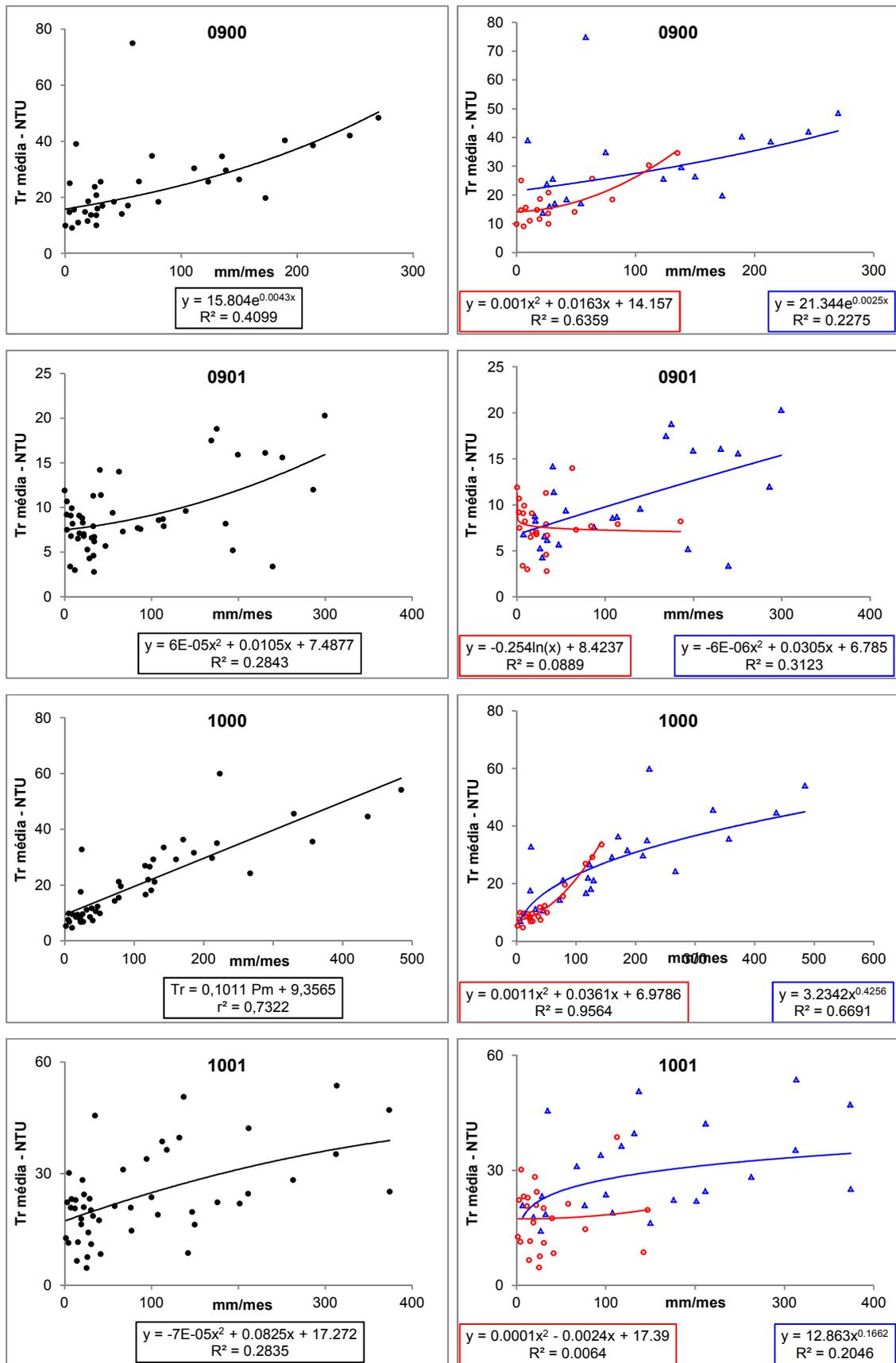


Figura 10. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0900 a 1001.

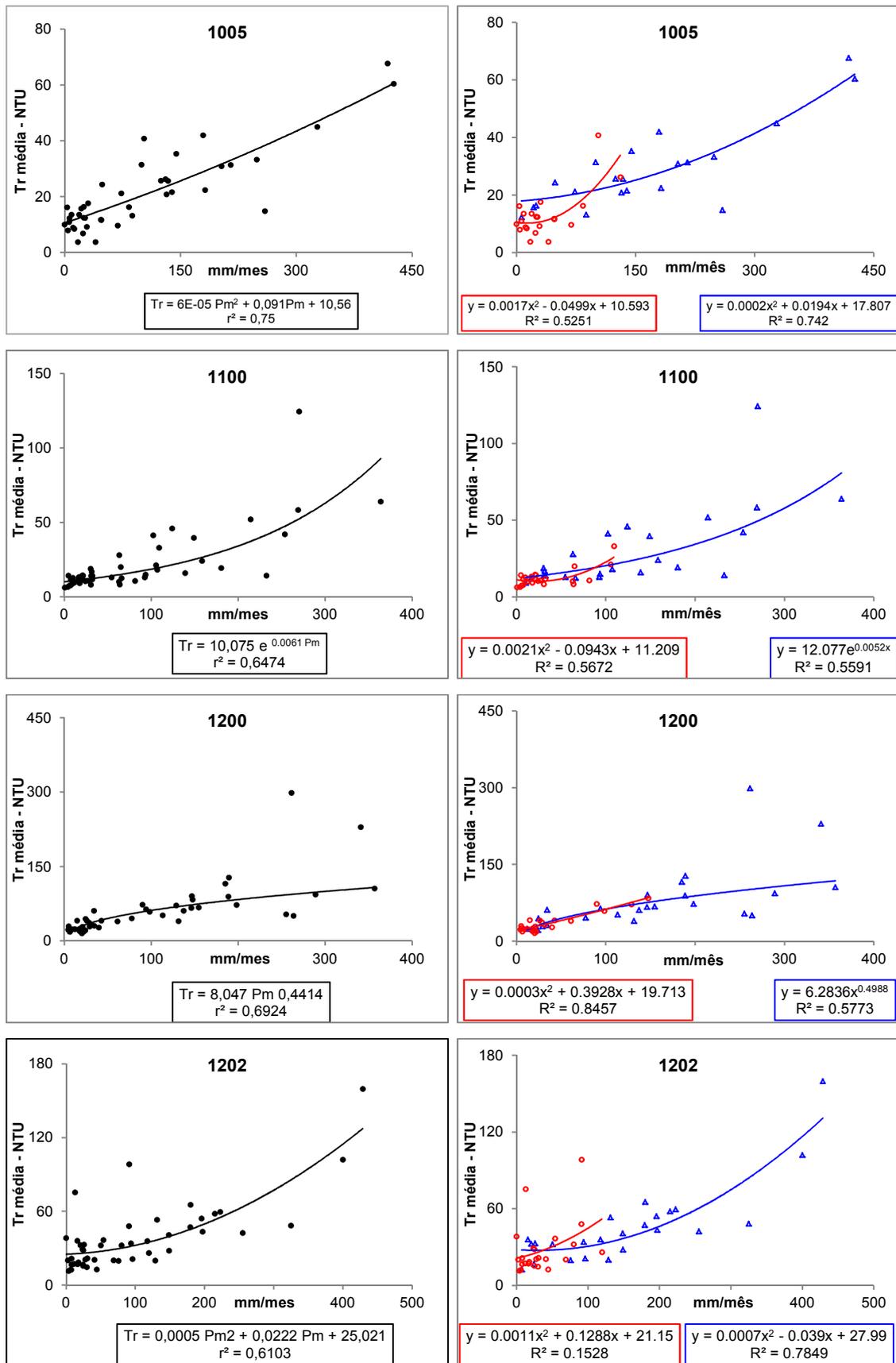


Figura 11. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 1005 a 1202.

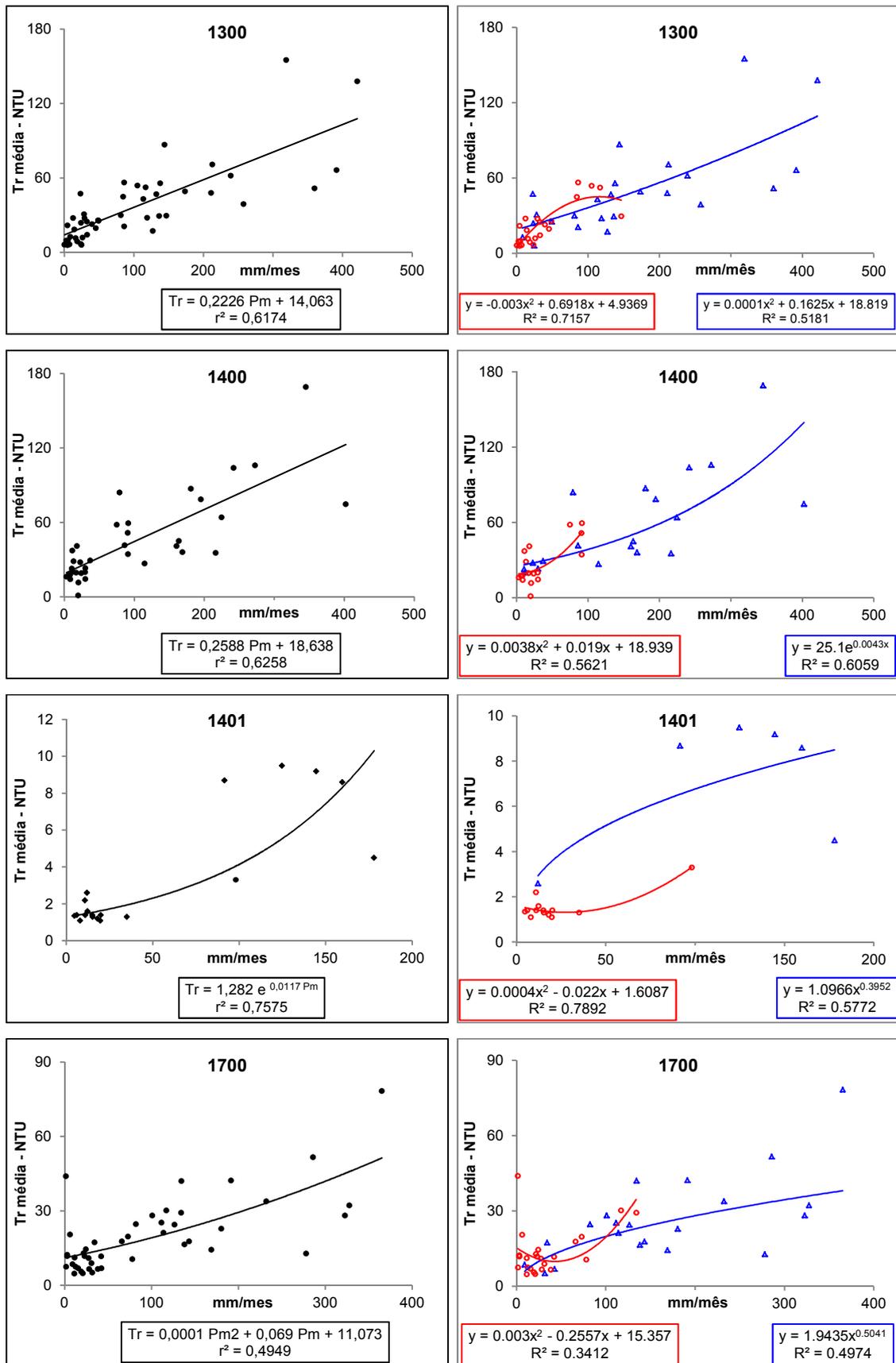


Figura 12. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 1300 a 1700.

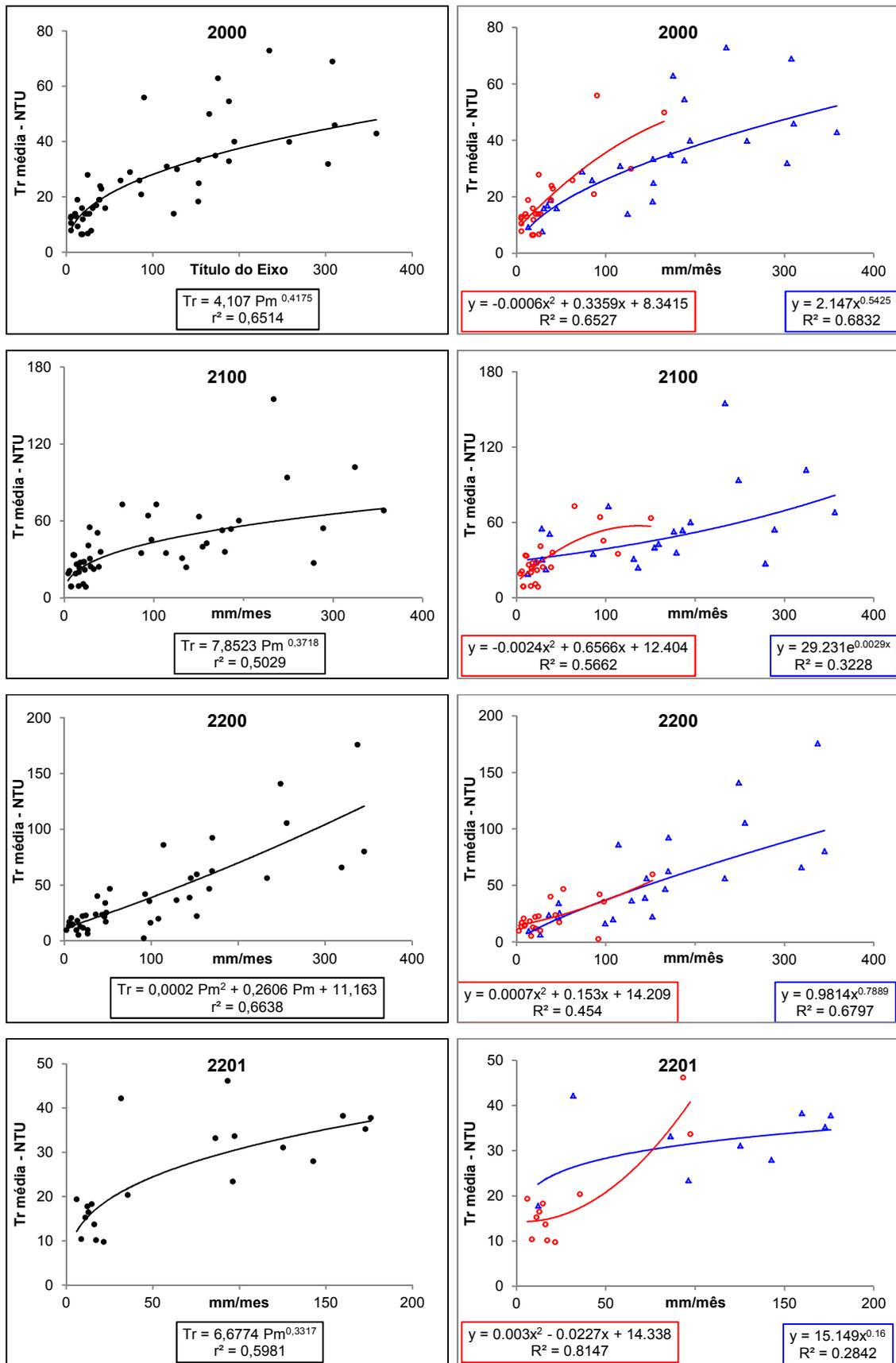


Figura 13. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 2000 a 2201.

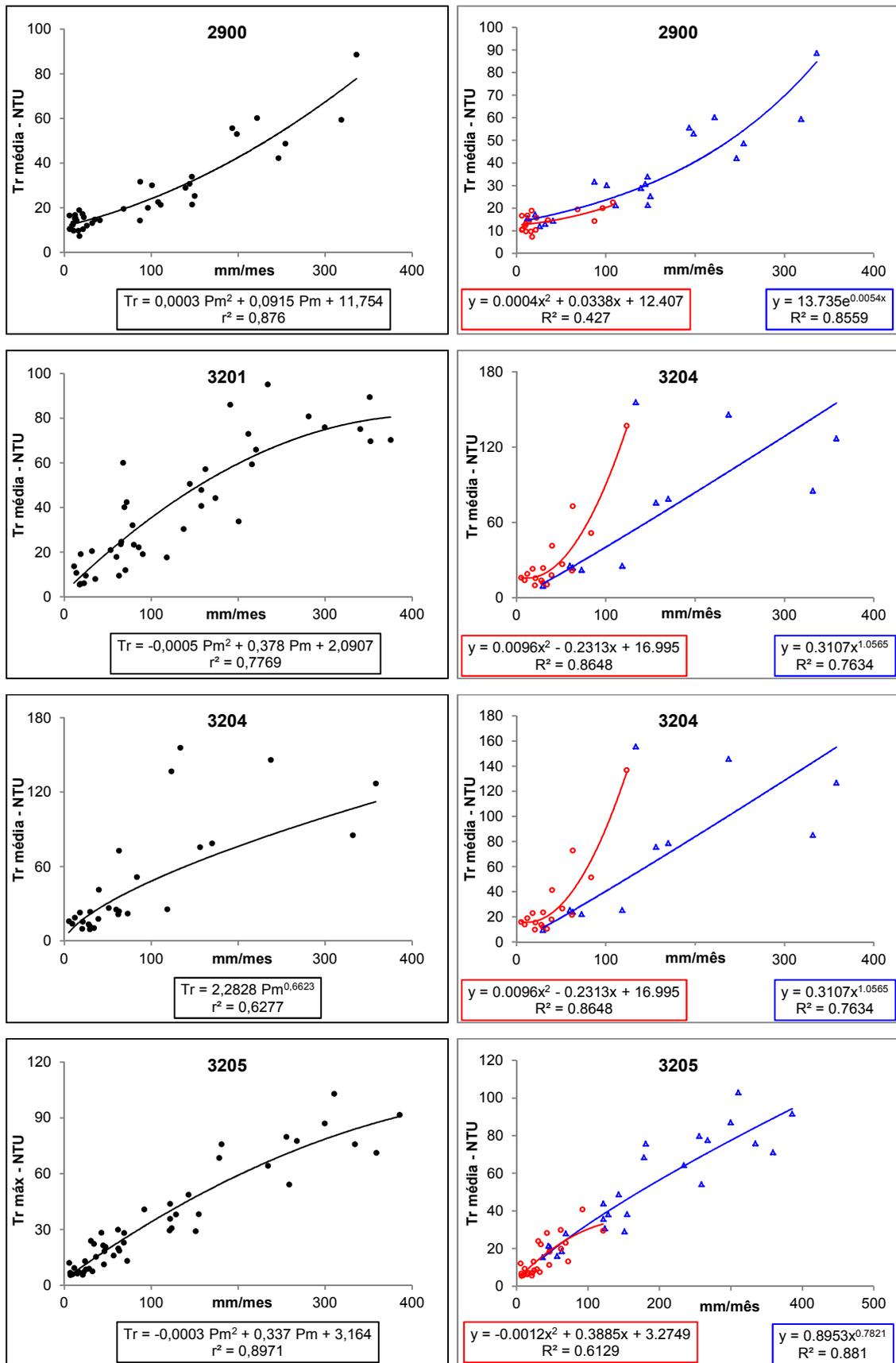


Figura 14. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 2900 a 3205.

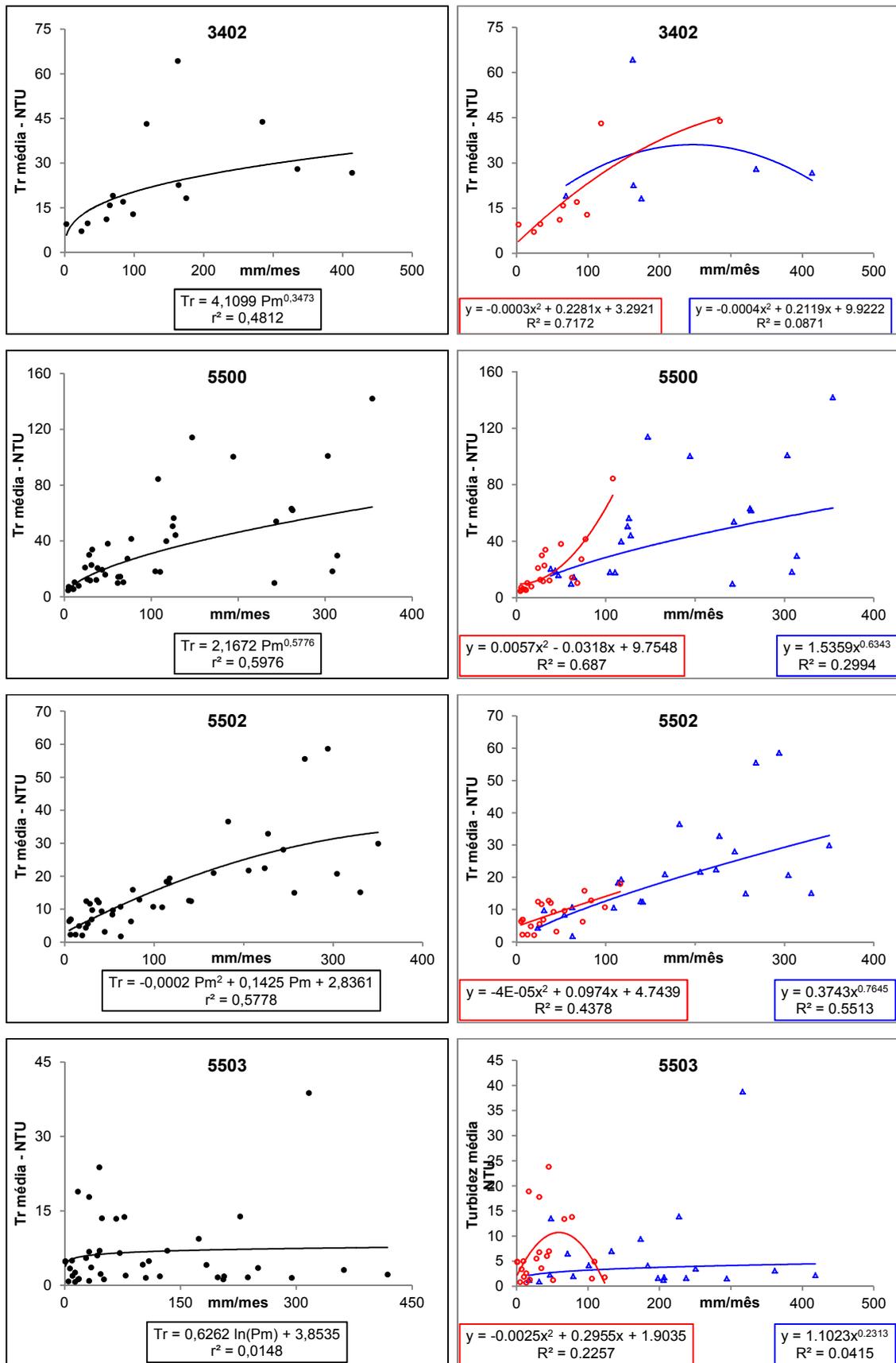


Figura 15. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 3402 a 5503.

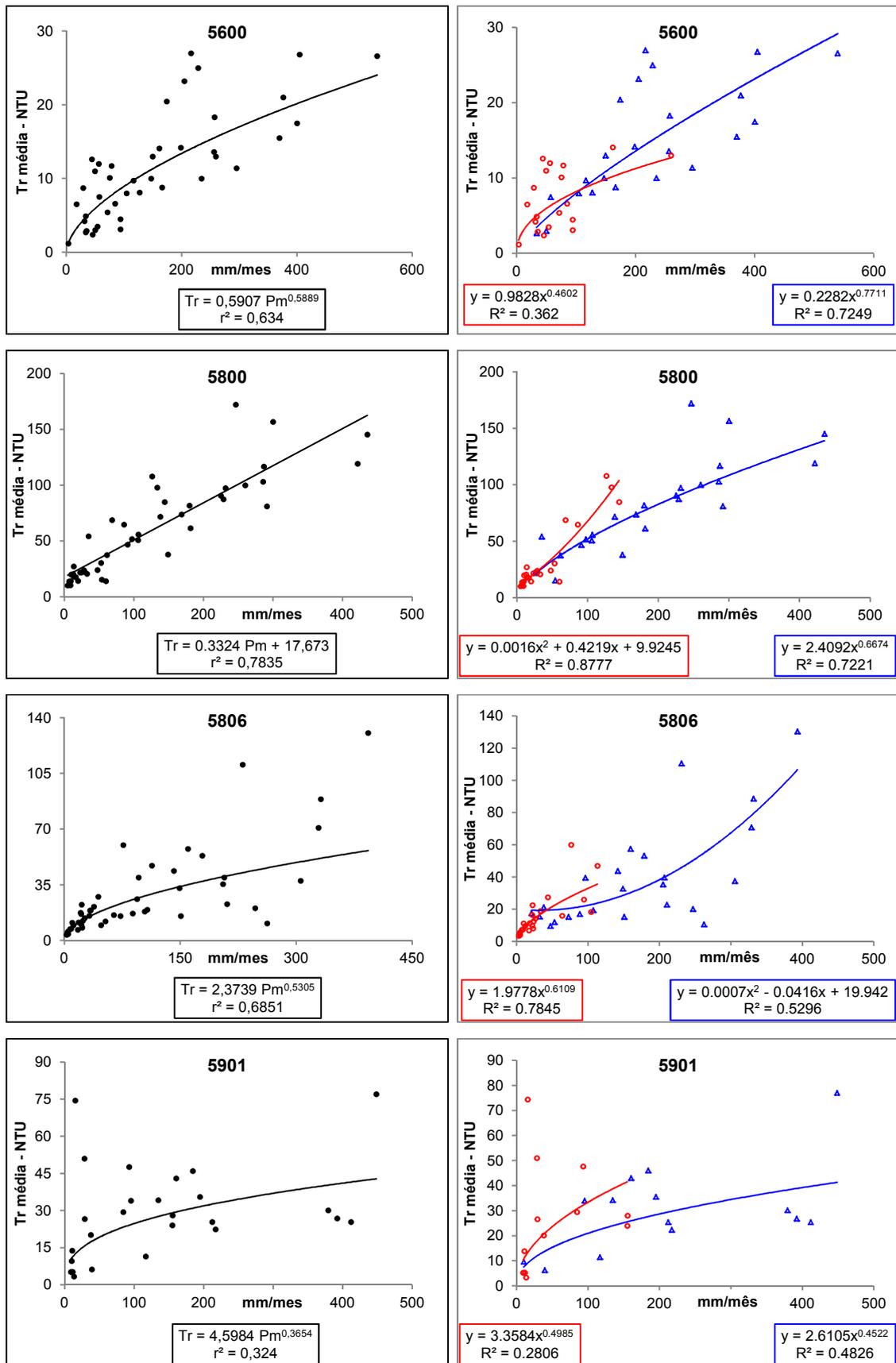


Figura 16. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 5600 a 5901.

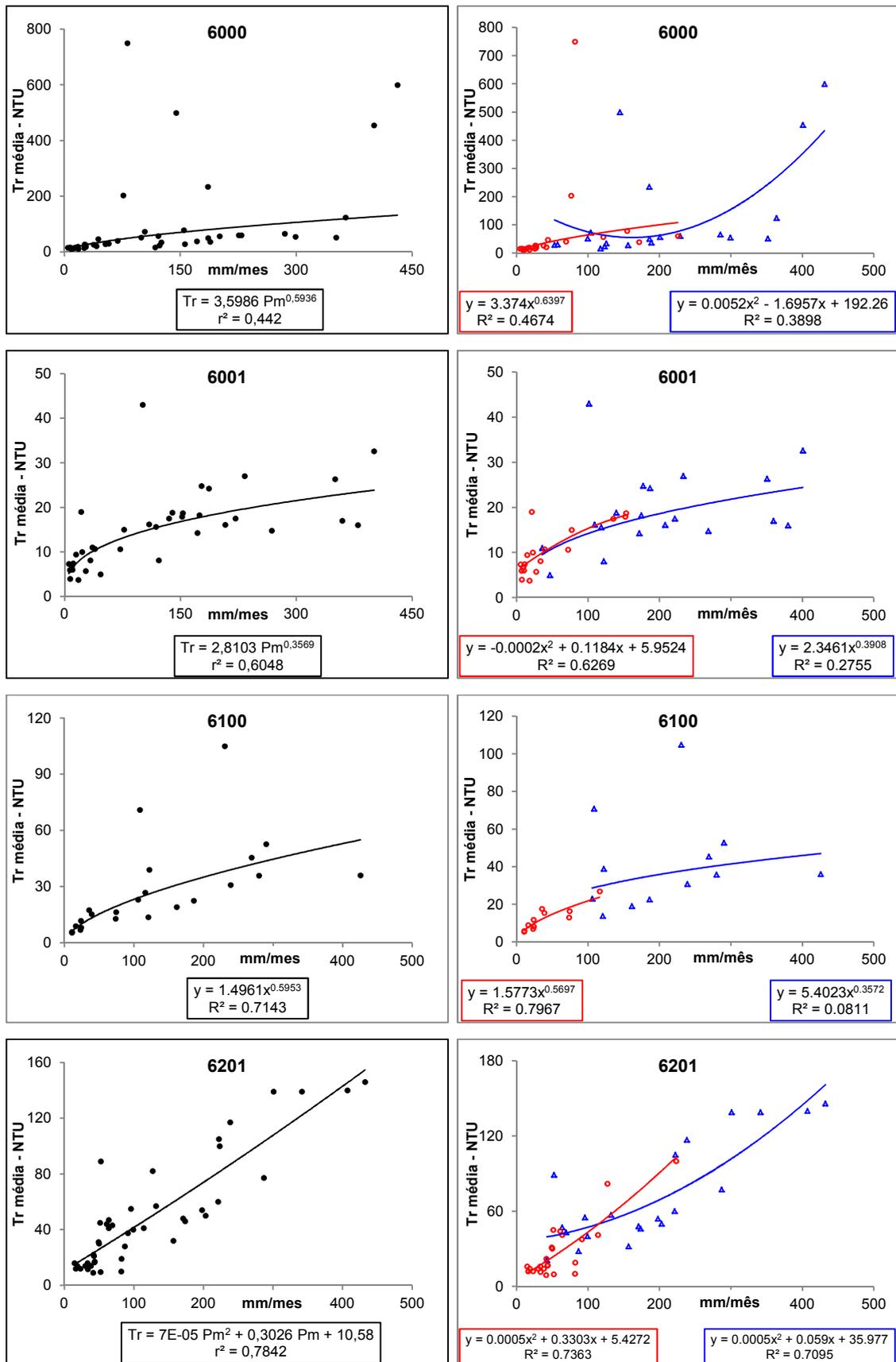


Figura 17. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 6000 a 6201.

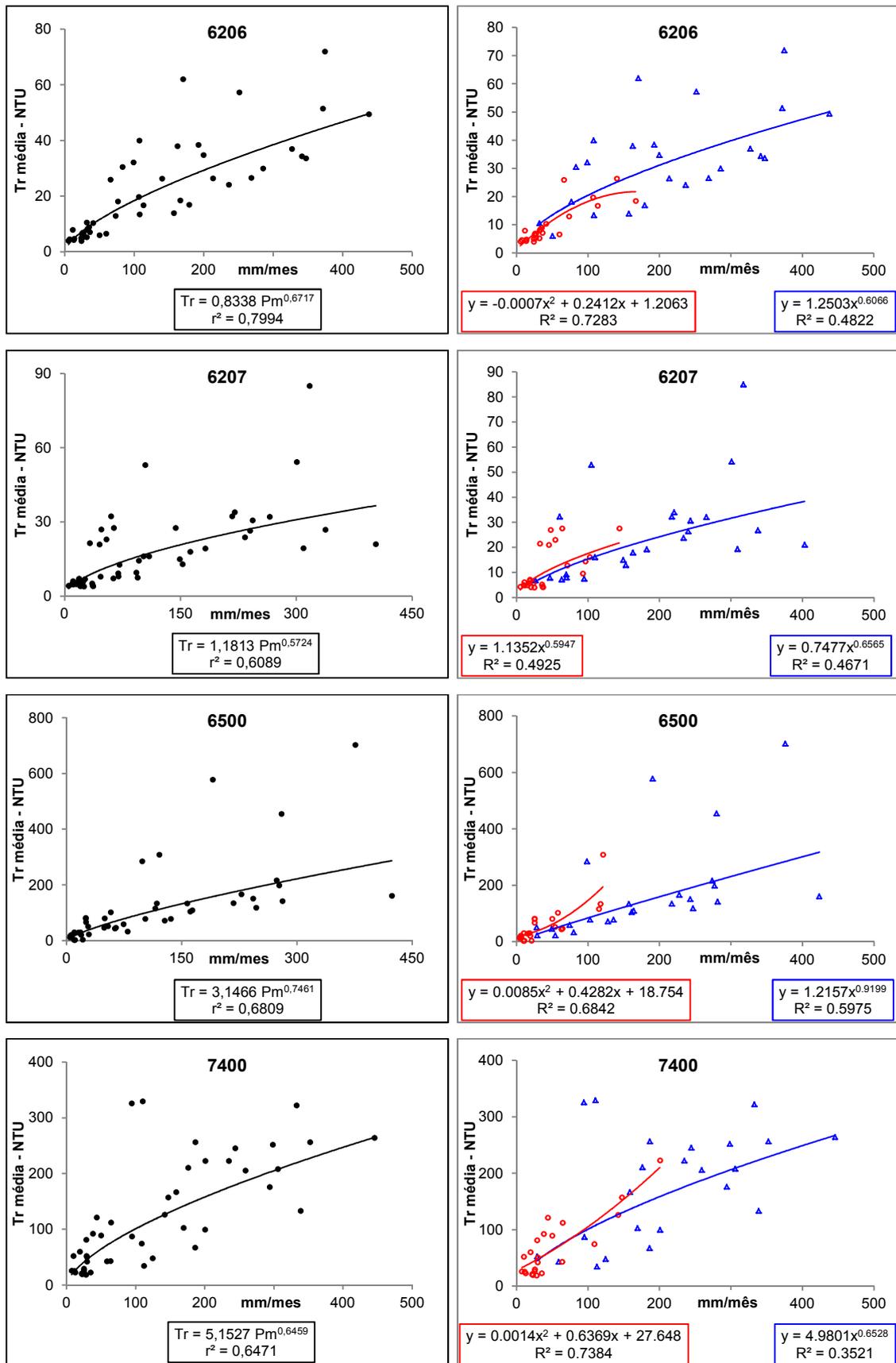


Figura 18. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 6206 a 7400.

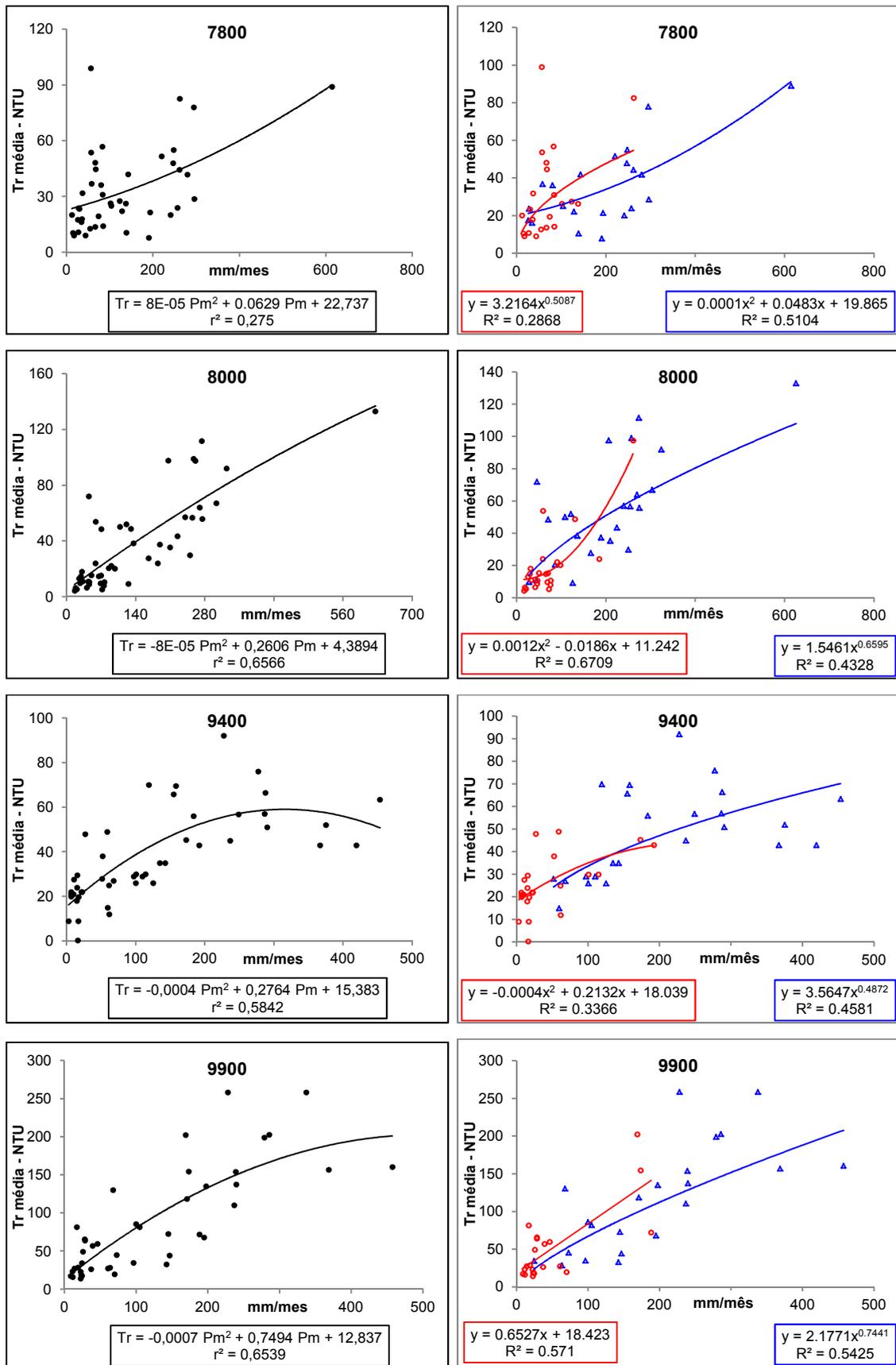


Figura 19. Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 7800 a 9900.

## 4.4. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO

### 4.4.1. AGH por características morfométricas

Foi realizado o agrupamento das bacias quanto às características morfométricas. Para isto, primeiro avaliou-se a multicolinearidade dos dados morfométricos, pelo NC, através da divisão do maior autovalor pelo menor, da matriz das variáveis morfométricas. Como o NC encontrado estava acima do limite estabelecido (NC = 2.524,4), foi realizado o descarte de variáveis, via matriz de correlação, conforme descrito no item 3.7.3. A remoção de duas variáveis, KI e Ar, resultou em um NC de 42,9 e na retenção de oito das dez variáveis para o agrupamento das bacias: Pr, Kc, Kf, SIN, S1,  $\Delta a$ , Rr e Dm.

Em seguida realizou-se a AGH com as variáveis morfométricas retidas, para o agrupamento das bacias. Usou-se a distância euclidiana quadrática como medida de similaridade e o método de Ward como critério de agrupamento, com corte a 30% de similaridade (figura 20).

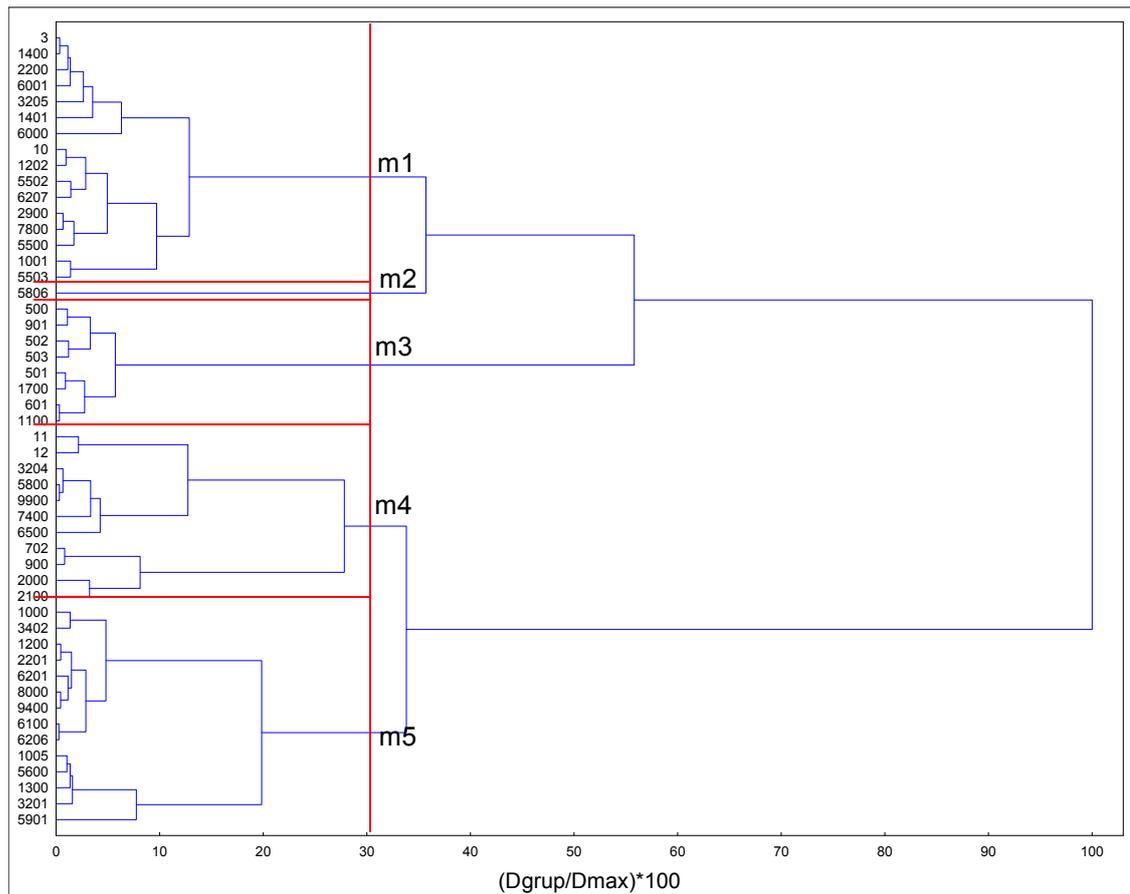


Figura 20. Análise de agrupamento hierárquico (AGH) das bacias, quanto as variáveis morfométricas Pr, Kc, Kf, SIN, S1,  $\Delta a$ , Rr e Dm. A linha vermelha vertical delimita o corte a 30% e as linhas vermelhas horizontais, delimitam os grupos formados (m1 a m5).

O agrupamento das bacias por características morfométricas originou cinco grupos. Os grupos m1, m2, m3, m4 e m5 contêm 16, 1, 8, 11 e 14 bacias, respectivamente. As características médias das variáveis nos grupos estão sumarizadas na tabela 5. As barras são proporcionais à amplitude da variação de cada característica entre os grupos.

Tabela 5. Médias das variáveis por grupo formado pela análise de agrupamento hierárquico (AGH) quanto as variáveis morfométricas.

	Grupo				
	m1	m2	m3	m4	m5
Tr	29,9	27,7	22,5	57,1	33,3
Pm	108,5	101,1	84,8	105,4	119,7
Vurb	3,6	0,0	253,5	79,0	35,9
Vias	64,7	0,0	44,3	55,1	68,3
Vitr	1178,2	1603,8	994,7	1150,3	1173,7
Edif	0,1	0,0	1,1	0,4	0,2
Crup	0,0	0,3	0,0	0,1	0,1
Mnrc	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1
Rfta	12,7	16,7	2,8	12,6	14,0
Fta	24,4	16,2	3,0	16,9	21,2
Pstg	34,2	27,7	71,7	37,6	36,8
Pfta	5,5	0,3	0,3	4,0	3,9
Solo	1,2	1,3	1,1	1,3	0,7
Agrp	3,9	1,1	8,5	6,9	3,2
Agrt	12,5	21,1	5,0	12,8	11,3
Pr	28,5	12,1	22,3	187,8	62,1
Ar	31,3	6,5	15,0	768,4	111,3
Kc	1,54	1,33	1,70	2,06	1,81
Kf	0,63	0,46	0,43	0,37	0,38
SIN	1,51	1,58	1,42	1,87	1,89
S1	0,033	0,140	0,010	0,011	0,024
KI	5,4	3,3	7,2	11,5	8,4
$\Delta a$	477,2	754,0	162,0	1121,0	858,7
Rr	0,81	2,01	0,32	0,30	0,59
Dm	32,7	42,9	15,8	31,6	36,6

#### 4.4.2. AGH por características de uso do solo

Foi realizado o agrupamento das bacias quanto às características de uso do solo. Para isto, primeiro avaliou-se a multicolinearidade dos dados de uso do solo, pelo NC, através da divisão do maior autovalor pelo menor, da matriz das variáveis de uso do solo. Como o NC encontrado estava acima do limite estabelecido (NC = 486,2), foi realizado o descarte de variáveis, via matriz de correlação, conforme descrito no item 3.7.3. A remoção de duas variáveis, Vurb e Fta, resultou em um NC de 19,9 e na retenção de 11 das 13

variáveis para o agrupamento das bacias: Vias, Vitr, Edif, Crup, Mnrc, Rfta, Pstg, Pfta, Solo, Agrp e Agrt.

Em seguida realizou-se a AGH com as variáveis de uso do solo retidas, para o agrupamento das bacias. Usou-se a distancia euclidiana quadrática como medida de similaridade e o método de Ward como critério de agrupamento, com corte a 30% de similaridade (figura 21).

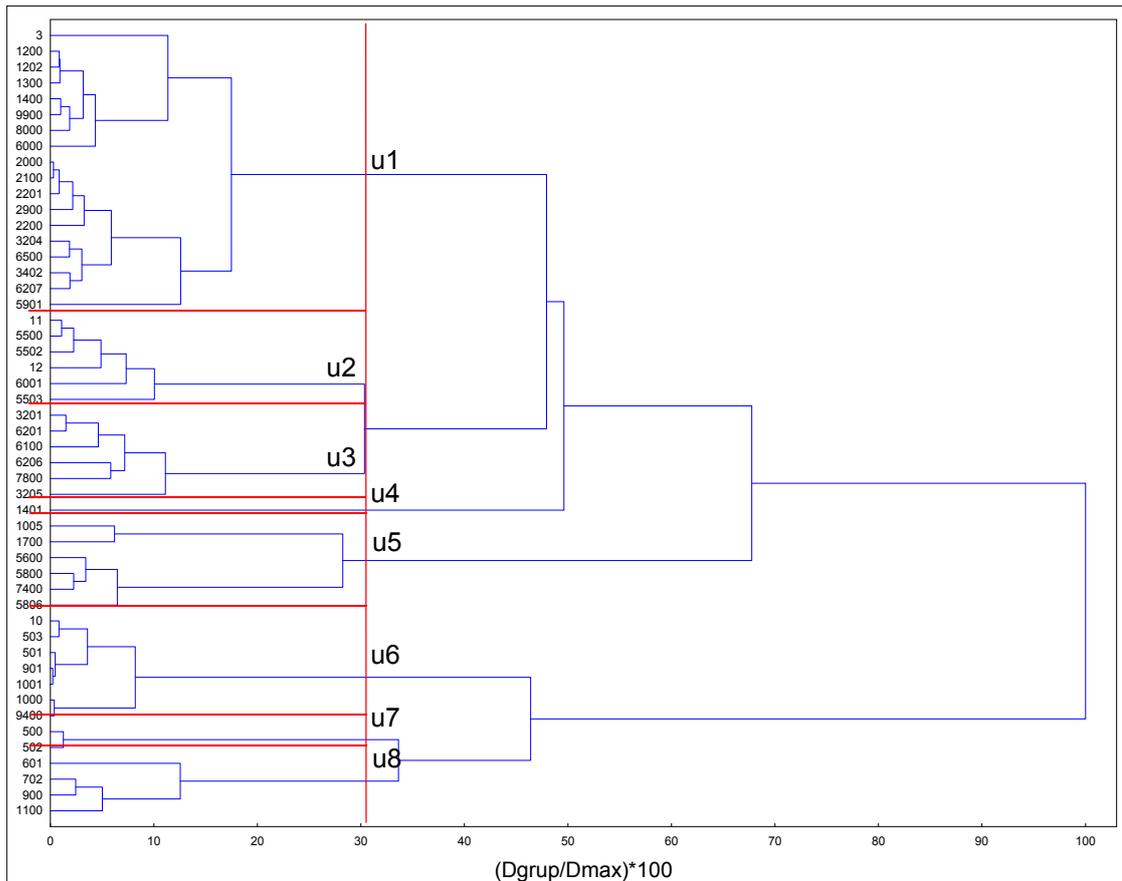


Figura 21. Análise de agrupamento hierárquico (AGH) das bacias, quanto as variáveis de uso do solo Vias, Vitr, Edif, Crup, Mnrc, Rfta, Pstg, Pfta, Solo, Agrp e Agrt. A linha vermelha vertical delimita o corte a 30% e as linhas vermelhas horizontais, delimitam os grupos formados (u1 a u8).

O agrupamento das bacias por características de uso solo originou oito grupos. Os grupos u1, u2, u3, u4, u5, u6, u7 e u8 contêm 18, 6, 6, 1, 6, 7, 2, 4 bacias, respectivamente. As características de uso do solo médias nos grupos estão sumarizadas na tabela 6. As barras são proporcionais à amplitude da variação de cada característica entre os grupos.

Tabela 6. Médias das variáveis por grupo formado pela análise de agrupamento hierárquico (AGH) quanto as variáveis de uso do solo

	Grupo							
	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8
Tr	46,0	27,3	37,2	3,3	44,3	26,3	18,2	20,0
Pm	107,4	113,9	124,7	51,8	115,4	99,7	85,7	80,0
Vurb	44,1	84,1	6,6	0,0	7,2	2,3	1019,7	36,9
Vias	57,3	22,2	221,8	0,0	41,5	0,0	28,1	42,4
Vitr	953,2	1630,5	1141,4	1220,7	1135,4	1393,5	865,4	933,7
Edif	0,2	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	4,4	0,2
Crup	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
Mnrc	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
Rfta	12,2	19,7	15,2	14,4	14,7	4,7	0,7	2,8
Fta	18,7	33,9	28,9	0,0	20,9	7,2	2,3	1,8
Pstg	39,2	15,4	20,7	11,8	33,1	77,8	73,7	56,8
Pfta	3,1	7,7	9,1	13,9	2,7	0,4	0,0	1,1
Solo	0,9	1,1	1,6	10,3	0,9	0,2	3,1	0,9
Agrp	1,4	8,8	7,2	0,0	2,8	0,8	5,7	23,8
Agrt	15,9	9,0	11,6	46,3	13,5	2,7	1,7	7,7
Pr	92,1	141,8	59,6	4,7	53,1	27,3	22,3	50,1
Ar	289,7	663,3	104,6	1,1	95,9	27,5	16,5	84,3
Kc	1,74	1,82	1,74	1,24	1,70	1,72	1,58	2,00
Kf	0,50	0,52	0,48	0,72	0,41	0,48	0,48	0,25
SIN	1,73	1,74	1,76	1,76	1,87	1,51	1,62	1,31
S1	0,026	0,021	0,025	0,039	0,046	0,017	0,009	0,007
Kl	7,7	8,6	7,6	2,5	7,1	7,5	5,8	10,6
Aa	757,8	883,5	894,7	163,0	916,0	387,3	162,9	176,9
Rr	0,58	0,50	0,68	1,29	0,87	0,59	0,30	0,15
Dm	36,0	33,6	34,0	30,8	38,0	23,3	10,8	13,3

#### 4.4.3. AGH por características morfométricas e de uso do solo

Foi realizado o agrupamento das bacias quanto às características morfométricas e de uso do solo. Para isto, primeiro avaliou-se a multicolinearidade de todos os dados, pelo NC, através da divisão do maior autovalor pelo menor, da matriz de todas as variáveis. Como o NC encontrado estava acima do limite estabelecido (NC = 3475,5), foi realizado o descarte de variáveis, via matriz de correlação, conforme descrito no item 3.7.3. A remoção de cinco variáveis (Kl, Vurb, Ar, Rr e Fta) resultou em um NC de 59,1 e na retenção de 18 das 23 variáveis para o agrupamento das bacias: Vias, Vitr, Edif, Crup, Mnrc, Rfta, Pstg, Pfta, Solo, Agrp, Agrt, Pr, Kc, Kf, SIN, S1, Δa Rr e Dm.

Em seguida realizou-se a AGH com as variáveis retidas, para o agrupamento das bacias. Usou-se a distância euclidiana quadrática como

medida de similaridade e o método de Ward como critério de agrupamento, com corte a 30% de similaridade (Figura 22).

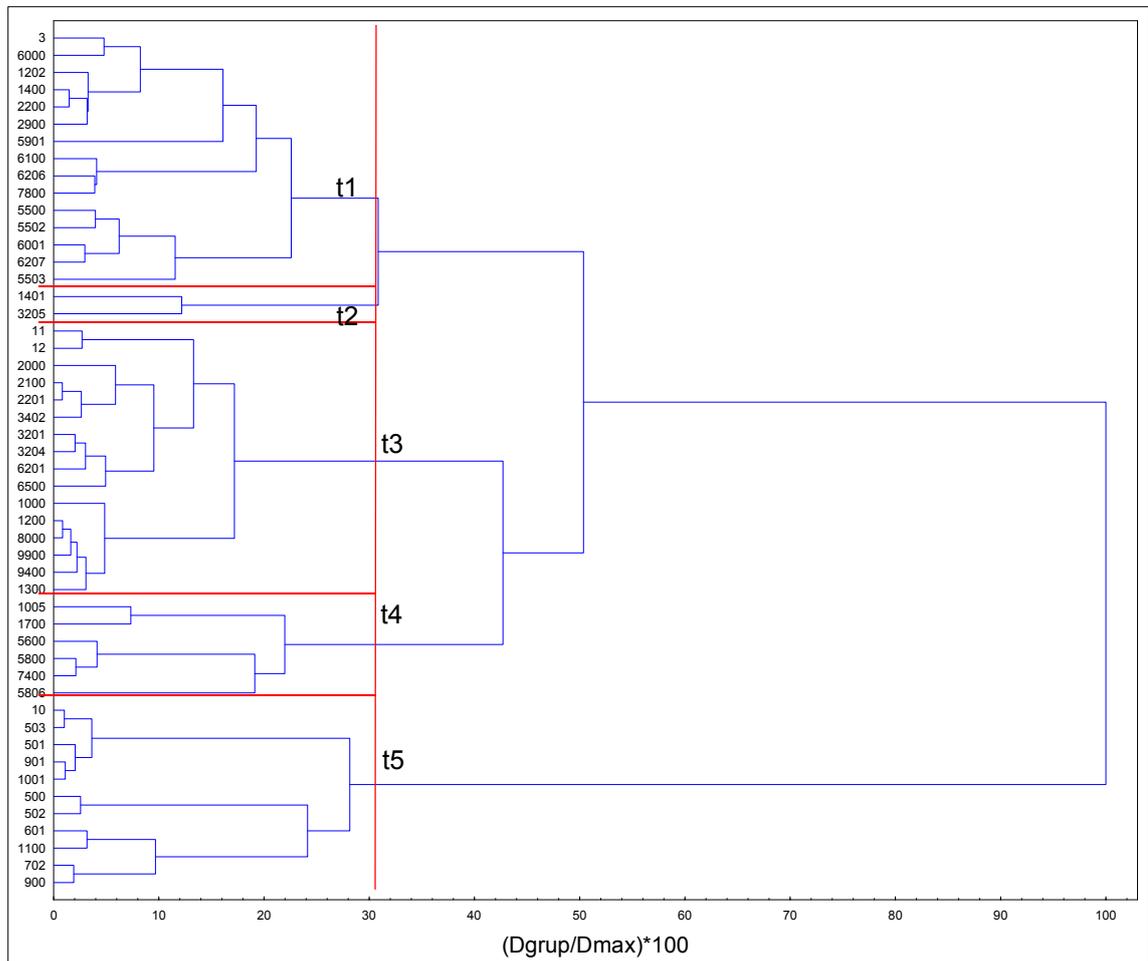


Figura 22. Análise de agrupamento hierárquico (AGH) das bacias, quanto as variáveis morfométricas e de uso do solo Vias, Vitr, Edif, Crup, Mnrc, Rfta, Pstg, Pfta, Solo, Agrp, Agrt, Pr, Kc, Kf, SIN, S1,  $\Delta a$  Rr e Dm. A linha vermelha vertical delimita o corte a 30% e as linhas vermelhas horizontais, delimitam os grupos formados (t1 a t5).

O agrupamento das bacias por características de uso solo originou oito grupos. Os grupos t1, t2, t3, t4 e t5 contêm 15, 2, 16, 6 e 11 bacias, respectivamente. As características médias nos grupos estão sumarizadas na Tabela 7. As barras são proporcionais à amplitude da variação de cada característica entre os grupos.

Tabela 7. Médias das variáveis por grupo formado pela análise de agrupamento hierárquico (AGH) quanto as variáveis morfométricas e de uso do solo.

	Grupo				
	t1	t2	t3	t4	t5
Tr	31,0	28,6	47,3	44,3	22,2
Pm	113,9	92,6	111,5	115,4	87,2
Vurb	6,4	14,5	76,9	7,2	190,4
Vias	84,1	178,4	58,8	41,5	19,9
Vitr	1140,8	1185,0	1214,5	1135,4	1071,6
Edif	0,1	0,1	0,4	0,0	0,8
Crup	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
Mnrc	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
Rfta	14,1	15,8	14,2	14,7	2,0
Fta	27,9	16,5	18,7	20,9	3,7
Pstg	28,0	7,2	39,0	33,1	72,5
Pfta	5,1	17,0	4,0	2,7	0,4
Solo	0,9	5,7	1,0	0,9	0,9
Agrp	4,9	5,2	2,8	2,8	9,7
Agrt	13,4	28,4	12,1	13,5	3,6
Pr	31,5	32,5	153,5	53,1	29,2
Ar	35,1	46,7	586,8	95,9	36,5
Kc	1,57	1,43	1,98	1,70	1,75
Kf	0,56	0,90	0,38	0,41	0,44
SIN	1,56	1,75	1,91	1,87	1,40
S1	0,033	0,036	0,016	0,046	0,011
KI	5,62	4,29	10,54	7,11	7,73
Δa	544,0	585,7	1066,3	916,0	190,5
Rr	0,77	1,03	0,38	0,87	0,39
Dm	34,0	33,0	35,6	38,0	16,1

#### 4.5. CORRELAÇÃO PARCIAL

A correlação parcial foi realizada entre a turbidez, a precipitação e as 18 variáveis que foram retidas após a redução da multicolinearidade no conjunto completo de dados (Vias, Vitr, Edif, Crup, Mnrc, Rfta, Pstg, Pfta, Solo, Agrp, Agrt, Pr, Kc, Kf, SIN, S1, Δa Rr e Dm). Os valores de correlação parcial estão apresentados na Tabela 8, para cada grupo formado pelas AGHs. Na primeira coluna à esquerda estão listadas todas as variáveis.

Tabela 8. Correlações parciais entre turbidez (Tr) e demais variáveis nos grupos formados pelos agrupamentos das bacias. Na primeira coluna a esquerda está a lista das variáveis e nas demais colunas os respectivos valores de correlação parcial para cada grupo formado nas análises de agrupamento hierárquicas (AGH)

	Correlação parcial												
	m1	m3	m4	m5	u1	u2	u3	u5	u8	t1	t3	t4	t5
Pm	0,34 *	0,34 *	0,60 *	0,58 *	0,46 *	0,60 *	0,54 *	0,58 *	0,64 *	0,32 *	0,59 *	0,58 *	0,33
Vias	0,13 *	-0,09	0,03	0,04	0,03	0,05	-0,19 *	0,00	0,01	0,01	-0,10 *	0,00	0,00 *
Vitr	0,02	-0,01	-0,05	0,01	-0,08 *	-0,04	-0,04	0,00	-0,01	-0,14 *	-0,06	0,00	0,00
Edif	-0,02	0,01	-0,01	0,23 *	0,13 *	-0,01	0,00	0,00	0,01	-0,07	-0,07	0,00	0,00
Crup	-0,07	0,01	-0,22 *	0,05	0,08 *	0,04	-0,15 *	0,00	-0,01	-0,12 *	-0,02	0,00	-0,06
Mnrc	0,02	0,00	0,32 *	-0,03	0,00 *	-0,02	-0,03	0,00	-0,01	-0,02	-0,01	0,00	0,14
Rfta	0,12 *	0,01	-0,03	-0,03	0,11 *	-0,03	0,04	0,00	0,01	0,02	-0,08 *	0,00	0,01
Pstg	-0,05	-0,02	-0,05	-0,03	-0,03	0,05	-0,04	0,26 *	-0,01	0,15 *	-0,11 *	0,26 *	-0,02 *
Pfta	-0,05	0,00	0,02	0,03	-0,09 *	0,03	0,06	0,00	0,01	-0,04	0,01	0,00	0,00 *
Solo	0,11 *	0,00	0,11 *	0,00	-0,04	0,05	0,05	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	-0,03
Agrp	-0,11 *	-0,32 *	0,04	-0,25 *	-0,14 *	-0,04	-0,02	0,09	-0,22 *	0,02	-0,19 *	0,09	-0,22 *
Agrt	-0,10 *	0,01	-0,28 *	0,09 *	0,13 *	-0,04	0,04	0,00	0,01	-0,02	-0,10 *	0,00	0,00
Pr	-0,01	0,00	-0,01	-0,15 *	0,11 *	0,05	0,01	0,00	-0,01	0,01	-0,01	0,00	0,05
Kc	0,11 *	0,15 *	-0,01	0,14 *	-0,10 *	0,06	-0,03	0,00	-0,01	0,13 *	-0,01	0,00	0,01
Kf	-0,08 *	-0,35 *	0,40 *	0,15 *	-0,08 *	-0,04	0,06	0,00	0,01	0,01	0,29 *	0,00	-0,28
SIN	0,00	-0,01	-0,12 *	0,03	0,01	0,57 *	0,03	-0,24 *	0,01	-0,02	-0,10 *	-0,24 *	-0,10 *
S1	-0,11 *	0,00	0,04	-0,17 *	0,01	0,02	0,04	0,00	0,01	-0,11 *	-0,08 *	0,00	0,02
Aa	-0,01	0,00	0,03	0,21 *	-0,02	0,06	0,01	0,32 *	-0,01	-0,01	0,15 *	0,32 *	0,02
Dm	0,12 *	-0,01	0,12 *	0,02	-0,09 *	0,32 *	0,04	0,00	0,01	0,24 *	-0,08 *	0,00	0,01

As variáveis precedidas de asterisco foram estatisticamente significativas a 5% de probabilidade pelo teste F

## 4.6. REGRESSÃO MÚLTIPLA

O ajuste de regressões lineares múltiplas apresentou desempenho variado entre os grupos. Os coeficientes das variáveis,  $r^2$  e erro padrão da estimativa são apresentados na Tabela 9. Nos grupos obtidos pela utilização de variáveis morfométricas via AGH, os valores de  $r^2$  variaram de 0,22 a 0,56. Nos grupos obtidos pela utilização de variáveis de uso do solo via AGH, os valores de  $r^2$  variaram de 0,08 a 0,68. Nos grupos obtidos pela utilização de variáveis morfométricas e de uso do solo, os valores de  $r^2$  variaram de 0,21 a 0,61.

## 4.7. DISCUSSÃO

### 4.7.1. Grupos formados por características morfométricas

O grupo m1 é formado por bacias relativamente pequenas, ( $A_r = 31,3 \text{ km}^2$ ), com maior incidência a ocorrência de enchentes (o maior valor de  $K_f = 0,63$  e o segundo menor de  $K_c = 1,54$ ). Possui  $D_m$  intermediária entre os grupos (32,7 %), embora classificada como relevo forte ondulado (EMBRAPA, 1979). Apresenta o segundo maior valor de  $R_r$  ( $0,81 \text{ m.m}^{-1}$ ), evidenciando um abrupto gradiente altitudinal ao longo do comprimento das bacias. Possui o maior valor de  $T_r$  entre os três grupos com bacias de dimensões semelhantes (grupos m1, m2 e m3), provavelmente em função de suas características de relevo. Possui densidade de  $V_{tr}$  ( $1178,2 \text{ km.km}^{-2}$ ) semelhante aos grupos m4 e m5.

A correlação parcial das variáveis com a turbidez foi significativamente positiva para as variáveis  $P_m$ ,  $V_{ias}$ ,  $R_{fta}$ ,  $S_{olo}$ ,  $K_c$  e  $D_m$ . Estes fatores sugerem que a suscetibilidade a ocorrência de enchentes, associados com a declividade e a impermeabilização das vias asfaltadas possa favorecer o escoamento superficial.

Tabela 9. Coeficientes das variáveis,  $r^2$  ajustado e erro padrão das regressões lineares múltiplas ajustadas para os grupos

	Coeficientes das equações ajustadas																		
	Grupos morfométricas					Grupos uso solo								Grupos morfo. e uso solo					
	m1	m2	m3	m4	m5	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	t1	t2	t3	t4	t5	
Pm	0,15	0,20	0,11	0,37	0,16	0,28	0,14	0,19	0,04	0,24	0,09	0,08	0,14	0,15	0,23	0,28	0,24	0,09	
Vias	0,26	-	-0,04	-	0,02	0,16	-	-0,12	-	-	-	-	-	-	-	-0,20	-	-	
Vitr	0,01	-	-	-0,02	-	-0,09	-	-	-	-	-	-	-	-0,02	-	-0,03	-	-	
Edif	-	-	-	-	6470,42	22012,40	-	-	-	-	-	-	-	-6121,64	-	-1578,61	-	-	
Crup	-9630,20	-	-	-18146,09	2143,06	29601,47	-	-8673,91	-	-	-	-	-	-17739,45	-	-	-	-359032,88	
Mnrc	-	-	-	86581,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24100,65	
Rfta	298,26	-	-	-	-	1088,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-405,84	-	-	
Pstg	-50,27	-	-	-	-	-141,00	-	-	-	79,04	-	-	-	46,08	-	-116,96	79,04	-	
Pfta	-91,19	-	-	-	-	-2400,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Solo	1015,21	-	-	1013,42	-	-1922,81	-	-	-	-	-	-	-	383,99	-	-	-	-105,70	
Agrp	-850,56	-	-144,93	-	-433,43	-1247,44	-	-	-	359,65	-	-	-37,34	-	-	-751,49	359,65	-92,29	
Agrt	-277,28	-	-	-394,05	53,61	733,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-251,86	-	-	
Pr	-	-	-	-	-0,53	1,24	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	-	-	0,25	
Kc	71,86	-	27,43	-	37,72	-419,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kf	-73,64	-	-117,85	293,20	77,81	-375,76	-	-	-	-	-	-	-	97,05	-	266,14	-	-68,26	
SIN	-	-	-	-32,47	-	7,95	32,79	-	-	-34,72	-	-	-	-	-	-43,54	-34,72	-19,45	
S1	-1,72	-	-	-	-1,30	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-0,91	-	-0,66	-	-	
Aa	-	-	-	-	0,12	-0,03	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	0,07	0,08	-	
Dm	2,58	-	-	1,08	0,30	-7,78	1,99	-	-	-	-	-	-	5,25	-	-2,45	-	-	
Intercep.	-60,66	7,78	30,85	-28,55	-138,94	1051,48	-112,38	46,38	1,05	-25,36	17,79	11,49	17,32	-272,39	7,15	226,61	-25,36	73,33	
$r^2$ ajust.	0,24	0,56	0,22	0,50	0,41	0,33	0,52	0,32	0,68	0,61	0,08	0,16	0,42	0,23	0,29	0,45	0,61	0,21	
Erro pad.	46,18	17,99	27,91	50,18	25,23	56,96	19,76	32,08	1,78	37,28	30,57	16,48	14,85	49,16	34,56	41,63	37,28	25,04	

O grupo m2 contém uma bacia apenas. Sua dimensão relativamente pequena ( $Ar = 6,5 \text{ km}^2$ ) e forma pouco alongada ( $Kc = 1,33$  e  $Kf = 0,46$ ) a torna propensa a ocorrência de precipitações que abranjam maior proporção de sua área, o que associado com o relevo mais acidentado ( $Dm = 42,9\%$ ,  $Rr = 2,01 \text{ m.m}^{-1}$  e  $S1 = 0,14 \text{ m.m}^{-1}$ ) pode ser um indicativo de suscetibilidade a erosão por escoamento superficial. No entanto, o valor médio de  $Tr$  foi o segundo menor ( $Tr = 27,7 \text{ NTU}$ ). Apresentou a maior densidade de  $Vitr$  ( $1603,8 \text{ km.km}^{-2}$ ).

Por ser apenas uma bacia, não foi possível realizar correlação parcial das variáveis com a turbidez.

O grupo m3 possui bacias com área intermediária ( $Ar = 15 \text{ km}^2$ ). Apresenta a maior proporção de área urbana de todos os grupos ( $Edif = 1,1\%$  e  $Vurb = 253,5 \text{ km.km}^{-2}$ ) e a maior proporção de área com pastagem ( $Pstg = 71,7\%$ ). É o grupo com o relevo mais suave, com os menores valores de  $Dm = 15,8\%$  (Relevo ondulado, segundo EMBRAPA, 1979),  $\Delta a$  (162 m) e  $S1$  ( $0,010 \text{ m.m}^{-1}$ ). Dos 3 grupos com as menores  $Ar$ , é o que apresenta as bacias mais alongadas ( $Kl = 7,2$ ). Por estas características de relevo pouco acidentado, forma alongada, e baixo valor de  $Pm$ , é o grupo que apresenta o menor valor de  $Tr$  ( $22,5 \text{ NTU}$ ).

Apresentou correlação parcial positiva significativa apenas com  $Pm$  e  $Kc$ . A correlação com  $Agrp$  foi elevada ( $-0,35$ ) sugerindo um regime menos intenso de manejo destas culturas.

O grupo m4 possui as maiores e mais alongadas bacias ( $Ar = 768,4 \text{ km}^2$  e  $Kc = 2,06$ ) e a maior variação de altitude ( $\Delta a = 1121 \text{ m}$ ), embora o menor valor de  $Rr$  ( $0,32 \text{ m.m}^{-1}$ ). Apresenta valor de  $Edif$  de  $0,4 \%$ . O valor de  $S1$  e  $SIN$  ( $0,011 \text{ m.m}^{-1}$  e  $1,87 \text{ m.m}^{-1}$ ) indica cursos d'água pouco declivosos e relativamente sinuosos, características que não são propícias a ressuspensão de material particulado. Entretanto é o grupo que apresenta maiores valores de  $Tr$  ( $57,1 \text{ NTU}$ ), provavelmente em função de sua maior área drenada, inclusive urbana. Cabe observar que os valores de  $S1$  e  $SIN$  são referentes ao canal principal e não oferecem informações sobre os tributários e a  $Dm = 31,6\%$  enquadra este grupo na característica de relevo forte-ondulado.

A correlação parcial foi positiva com  $Mnrc$ ,  $Solo$ ,  $Kf$  e  $Dm$  e negativa com  $Crup$ ,  $Agrt$  e  $SIN$ .

O grupo m5 tem bacias de grandes dimensões, pouco suscetíveis a enchentes ( $K_f = 0,38$  e  $K_c = 1,81$ ), e declivosas ( $D_m = 36,6\%$ ), com a segunda maior diferença de altitude ( $\Delta a = 858,7$  m), embora com curso principal sinuoso ( $SIN = 1,89$  m.m<sup>-1</sup>). Apresentou correlação elevada de  $Tr$  com  $Edif$  (0,23) e  $\Delta a$  (0,21) e negativa com  $S1$ .

#### **4.7.2. Grupos formados por características de uso do solo**

Os grupos  $u1$ ,  $u2$  e  $u3$  apresentam uma ocupação agrícola semelhante, sendo que  $u3$  tem uma densidade de autoestradas maior que os outros dois grupos ( $Vias = 221,8$  km.km<sup>-2</sup>). São também os grupos que apresentam as bacias com a maior área média ( $A_r$  entre 104,6 e 663,3 km<sup>2</sup>). Tem valores semelhantes de todas as características morfométricas, exceto área e perímetro, sendo o grupo  $u3$  o menor destes.

No entanto a correlação parcial apresentou valores opostos de  $D_m$  para  $u1$  e  $u2$  (-0,09 e 0,32, respectivamente). Apenas  $u1$  teve correlação significativa e positiva com a variável  $Edif$ , embora não seja o grupo que tem maior proporção de áreas edificadas.

O grupo  $u4$ , composto apenas pela bacia 1401, possui a menor área e declividade semelhante aos grupos  $u1$ ,  $u2$ ,  $u3$  e  $u5$ . Possui a maior proporção de solo exposto (10,3%), a maior proporção de  $Ag_r$ , o maior valor de  $K_f$  e nenhuma cobertura florestal nativa. No entanto apresenta os menores valores de  $Tr$ , provavelmente devido a ter também o menor valor de  $P_m$ , o que evidencia o papel da precipitação na geração de turbidez.

O grupo  $u5$  tem as mais elevadas proporções de  $Crup$  e  $Mnrc$ . Possui a maior diferença de altitude ( $\Delta a = 916$  m) e  $D_m$  (38%). Este grupo apresentou correlação positiva entre  $Tr$  e  $\Delta a$  (0,32), tendo a pastagem também atingido elevado valor de correlação com  $Tr$  (0,26). Isso pode sugerir dinâmicas de escoamento superficial em pastagens. A correlação foi negativa com  $SIN$  (-0,24).

Os grupos  $u6$ , e  $u7$  possuem pastagem como cobertura do solo predominante ( $P_{stg} = 77,8\%$  e  $73,7\%$ ). Possuindo características de relevo mais suaves que os grupos anteriores e pluviosidade também menor,

apresentam Tr menos pronunciada. U7 apresenta a maior proporção de área edificada de todos os grupos (4,4%).

Não foi possível calcular a correlação parcial para os grupos u6 e u7, devido a baixa variabilidade de algumas variáveis nestes grupos.

O grupo u8 possui elevada proporção de Pstg e Agrp (56,8% e 23,8%), sendo a maior proporção de Agrp de todos os grupos, que foi a única variável com correlação parcial significativa (-0,22). Apresenta a segunda menor cobertura florestal.

#### **4.7.3. Grupos formados por características morfométricas e de uso do solo**

Os grupos t1 e t2 possuem bacias de pequena dimensão ( $Ar = 35,1$  e  $46,7 \text{ km}^2$ ), com média suscetibilidade a ocorrências de torrencialidades para t1 ( $Kf = 0,56$ ) e alta suscetibilidade para t2 ( $Kf = 0,90$ ), com rios de média sinuosidade. As proporções de uso do solo são diferentes, contudo, sendo que t1 tem maior cobertura florestal nativa e t2 maior cobertura de florestas plantadas. Os valores de Tr são proporcionais aos valores de Pm entre os grupos.

O grupo t3 possui a maior média de Ar ( $586,8 \text{ km}^2$ ) e a forma mais propícia a não ocorrência de alagamentos ( $Kf = 0,38$ ) com curso d'água principal de sinuosidade acentuada ( $SIN = 1,91 \text{ m.m}$ ) e o menor Rr, com a segunda maior proporção de área edificada e Vurb. Apresenta correlação parcial significativa negativa com as variáveis Vias, Rfta, Pstg, Agrp, Agrt, SIN, S1 e Dm. Apresenta correlação positiva significativa com Kf e  $\Delta a$ .

O grupo t5 tem cobertura diferente dos outros grupos, com predominância de Pstg (72,5%), a maior proporção de Argp (9,7%) e área edificada (0,8)%. Com bacias de tamanho relativamente pequeno ( $Ar = 36,5$ ), o menor valor de Dm,  $\Delta a$ , S1 e SIN, bem como o menor valor de Pm, apresentou também o menor valor de Tr.

#### **4.7.4. Considerações gerais**

De uma forma geral, o fator de maior influencia na turbidez é a precipitação, por sua ação mecânica, que desagrega e carrega partículas de solo aos corpos d'água e por regular a vazão, aumentando a velocidade e o volume de água nos corpos hídricos.

Os fatores de uso do solo têm influencia indireta, na medida em que condicionam o efeito da precipitação em sua interface com a superfície, propiciando a infiltração ou escoamento superficial, ocasionando interceptação ou expondo o solo a ação mecânica direta da precipitação.

A correlação positiva entre Tr e Pstg pode advir do costumeiro manejo inadequado das pastagens capixabas, em que o sobrepastoreio ocasiona exposição do solo e degradação das características originais do solo, via compactação das camadas superficiais. Além disso, é também prática corrente a dessedentação do gado diretamente nos mananciais, criando caminhos de solo exposto e compactado até o corpo d'água. A variável Pstg teve correlação negativa com a turbidez em dois dos cinco grupos em que foi significativa, o que pode indicar que esta forma de uso do solo desempenha papel variável, no condicionamento das características hidrológicas da bacia, em função de outras características como a declividade.

Já a variável Rfta teve correlação positiva em dois dos três grupos em que foi significativa. O que em princípio parece ser um comportamento oposto ao esperado. Então, elevados valores de regeneração florestal, oriundos possivelmente de áreas agrícolas e pastagens mal conduzidas e abandonadas, bem como de processos de recuperação (natural ou antrópica) áreas de Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APPs), pode ser um indicativo da fragilidade destas áreas.

A Argt teve correlação positiva em duas das cinco ocorrências e a Agrp obteve correlação negativa nos sete grupos em que foi significativa. A agricultura temporária pode ter contribuído para a ocorrência da turbidez, devido ao intensivo preparo do solo, situações em que ele pode estar exposto, ou sofrer alterações em sua estrutura por processos mecânicos, como aração e gradagem. A agricultura irrigada também pode ter influencia adicional na geração de escoamento superficial, pela alteração da umidade do solo, o que num episódio de precipitação pode provocar a saturação antecipada e o

escoamento superficial. A agricultura permanente, embora compartilhe práticas com a agricultura temporária, o faz de forma menos frequente.

As variáveis relativas a ocupação urbana (Vurb e Edif) e estradas asfaltadas, podem estar associadas com a impermeabilização de grandes áreas, o que favorece o escoamento superficial. A ocupação urbana ainda pode ter influência relativa ao lançamento direto de efluentes domésticos e industriais não tratados diretamente nos mananciais, aumentando o material particulado de origem biológica e química, aumentando a turbidez. Como estes lançamentos não são função direta da área edificada, como por exemplo no caso da existência ou ausência de estações de tratamento de esgotos.

Os fatores morfométricos também influenciam a interação da precipitação com o solo. De uma forma geral, quanto mais declivoso o relevo, maior seria a turbidez média, conforme demonstrado pelas correlações parciais das variáveis  $\Delta a$ ,  $D_m$  e  $R_r$ , tendendo a redução da infiltração e o aumento do escoamento superficial.

O baixo coeficiente de determinação das regressões, bem como os valores contra intuitivos de correlação parcial podem ser reflexo da escala de tempo dos dados de turbidez. A utilização de dados médios mensais de turbidez e precipitação pode diluir o real comportamento dessas variáveis. Em uma mesma bacia, dois meses com mesma  $P_m$  mensal podem ocultar comportamentos pluviais bastante distintos, visto que as características intensidade e duração da precipitação são importantes na definição do potencial erosivo.

A ocorrência de coeficientes de correlação parcial opostos aos esperados, ou com valores opostos em grupos distintos, não constitui uma falha do procedimento em si. A correlação é uma relação entre proporções de variação de valores, sem que haja necessariamente uma relação causal (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Por exemplo, correlação positiva entre  $T_r$  e  $V_{ias}$ , pode indicar a ocorrência de escoamento superficial em função das superfícies impermeáveis. Já a correlação negativa pode ser o efeito de boas estradas com obras adequadas de drenagem, interceptando em alguns casos o escoamento superficial de áreas adjacentes.

Da mesma forma, a correlação positiva com S1 pode ser uma indicação de um curso d'água declivoso, que propicie a ressuspensão de partículas de sólidos, enquanto a correlação negativa pode ser o reflexo deste rio em uma área de relevo acidentado e com utilização menos intensiva para atividades agropastoris, sendo então uma relação indireta com a grandeza em questão.

## 5. CONCLUSÕES

- A seleção de variáveis para descarte pela matriz de correlação foi eficiente para a redução da multicolinearidade. A escolha da variável a ser retida, no entanto, pode depender da decisão do usuário e deve refletir o entendimento dos fenômenos estudados, ou refletir um critério objetivo, como facilidade de obtenção da variável ou sua acurácia;
- As regressões lineares múltiplas não tiveram um bom ajuste nos grupos formados, na maioria dos casos;
- As regressões entre  $T_r$  e  $P_m$  em cada bacia, tiveram ajustes variados com valores extremos entre muito bons e muito ruins.
- As variações da interação da precipitação, das características morfométricas e de uso do solo com os níveis de turbidez que ocorrem em escala sub-mensal não puderam ser captados, o que pode ter contribuído para a imprecisão dos modelos ajustados.

## 6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEKALU, K.O.; OKUNADE, D.A.; OSUNBITAN, J. A. Compaction and mulching effects on soil loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. **Geoderma**, v. 137, n. 1-2, p. 226-230, 2006.

ANTONIO, M. A. Energia cinética da precipitação estimada por radar de tempo ajustado por medida disdrométrica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 41-48.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p.257-262, 2003.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007. p. 177-241.

BELLOT, J.; BONET, A.; SANCHEZ, J.R.; CHIRINO, E. Likely effects of land use changes on the runoff and aquifer recharge in a semiarid landscape using a hydrological model. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 55, n. 1, p. 41-53, 2001.

BOSTAN, P. A.; HEUVELINK, G. B. M.; AKYUREK, S. Z. Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 19, p. 115-126, 2012.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Infiltração da água no solo. Viçosa: Editora UFV, 2006. 120 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de mar. de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 mar. 2005. Seção 1, p 58 - 63.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministério. Portaria nº 2.914, de 12 de dez. de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p 39 - 46.

CAMPLESI, D. C. F.; PEREZ, W. E.; SIQUEIRA, E. Q. Remoção de coliformes totais e *Escherichia coli* utilizando a filtração em múltiplas etapas (FiME) em

períodos de alta turbidez da água bruta. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiania, v. 1, n. 1, p. 14-18, 2010.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1235-1242, 2012.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 871-880, 2010.

DALRI, A. B.; CORTEZ, G. E. P.; RIUL, L. G. S.; ARAÚJO, J. A. C.; CRUZ, R. L. Influência da aplicação de vinhaça na capacidade de infiltração de um solo de textura franco arenosa. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 344-352, 2010.

DANTAS, V. A.; SILVA, V. P. R.; COSTA, A. C. L.; CHAGAS, G. F. B. Fluxos de calor no dossel vegetativo e infiltração de água no solo, em floresta tropical. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1266-1274, 2011.

DANFÁ, S. SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; COELHO, G.; VIOLA, M. R.; ÁVILA, L. F. Distribuição espacial de valores prováveis de precipitação pluvial para períodos quinzenais, em Guiné-Bissau. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 67-74, 2011.

De VINCENZO, A.; MOLINO, B.; VIPARELLI, R.; CARAMUSCIO, P. A methodological approach for estimating turbidity in a river. **International Journal of Sediment Research**, v. 26, n. 1, p. 112-119, 2011.

Di PIAZZA, A.; Lo CONTI, F.; NOTO, L. V.; La LOGGIA, G. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, p. 396-408, 2011.

EDER, A.; STRAUSS, P.; KRUEGER, T.; QUINTON, J. N. Comparative calculation of suspended sediment loads with respect to hysteresis effects (in the Petzenkirchen catchment, Austria). **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 389, n. 1-2, p. 168-176, 2010.

EKWUE, E. I.; HARRILAL, A. Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. **Biosystems Engineering**, v. 105, n. 1, p. 112-118, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro,

RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1)

ESRI 2011. ArcGIS Desktop, Versão 10.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

EUGÊNIO, F. C.; SANTOS, A. R.; DALFI, R. L.; MOREIRA, T. R. Influência do Desmatamento na Disponibilidade Hídrica da Bacia Hidrográfica de Rive, Alegre, ES, Brasil. **Silva Lusitana**, v. 21, n. 2, p. 205-218, 2013.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, DPI/INPE, 2004. cap. 7. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf)>. Acesso em: 03 Abr. 2013.

FERREIRA FILHO, S. S.; MARCHETTO, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 7-15, 2006. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/esa/v11n1/29132.pdf](http://www.scielo.br/pdf/esa/v11n1/29132.pdf)>. Acesso em: 27/03/2014.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. 2009. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FORTIN, M. J.; DALE, M. R. T. **Spatial analysis: a guide for ecologists**. New York: Cambridge University Press, 2005, v. 1, 365 p.

GARDIMAN-JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; FREITAS, C. C. A.; CECÍLIO, R. A. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES). **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 1, p. 61-71, 2012.

GEOBASES. Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. 2002. INCAPER. Disponível em: <http://www.geobases.es.gov.br/portal/>. Acesso em: 21 ago. 2013.

GONÇALVES, F.C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 337-345, 2012.

GONÇALVES, J. C. S. I.; SARDINHA, D. S.; SOUZA, A. D. G.; DIBIAZI, A. L. B.; GODOY, L. H.; CONCEIÇÃO, F. T. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão, SP. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 141-154, 2012.

HACH. **Manual de operação**: Turbidímetro portátil modelo 2100P. Ames, Hach Company, 1998. 82 p.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. **Multivariate data analysis: a global perspective**. 7. ed. Boston: Pearson, 2009, v. 1, 816 p.

JOLLIFFE, I. T. **Principal component analysis**. 2 ed. New York: Springer, 2002, v. 1, 488 p.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: edição online, 2008. V. 1, 245 p. Disponível em: <[www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf](http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf)>. Acesso em: 21/08/2014.

LÓPEZ-TARAZÓN, J. A.; BATALLA, R. J.; VERICAT, D.; BALASCH, J. C. Rainfall, runoff and sediment transport relations in a mesoscale mountainous catchment: The River Isábena (Ebro basin). **Catena**, v. 82, n. 1, p. 23-34, 2010.

MIERZWA, J. C., SILVA, M. C. C., RODRIGUES, L. D. B., HESPANHOL, I. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 78-87, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n1/a11v13n1.pdf>> Acesso em: 15 Fev. 2015.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MONTGOMERY, D. M.; PECK, E. A.; VINNING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2012, v. 1, 672 p.

MORAES, C. **Geografia do Espírito Santo**. Vitória: Fundação Cultural do Espírito Santo, 1974. 231 p.

MOTTA, J. S., **Dosagens de coagulante  $Al_2(SO_4)_3$  recomendadas para a ETA Santa Maria de Jetibá** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[pedrohspenedo@gmail.com](mailto:pedrohspenedo@gmail.com)> em 17 jul. 2015.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Correlação e regressão. Hidrologia estatística. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Belo Horizonte, 2007, v. 1, 552 p.

NEVES, F.; F. Avaliação da influência de sedimentos em suspensão em populações de *Corbicula fluminea* (MULLER, 1774) (Mollusca, Bivalvia, Corbiculidae): análise comparativa em duas microbacias hidrográficas do Estado de São Paulo, Brasil. 2010. 162 f. Tese (Doutorado em Biologia Comparada). Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

PARRÓN, L. M., MUNIZ, D. H. F., PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo, 2011. 67 p.

Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>> Acesso em: 03 mai. 2015.

PEREIRA, R. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 20–36, 2004.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. DE P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de taxas de turbidez da bacia do alto Rio das Velhas como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. **Revista de Geografia**, Recife, v. especial, n. 3, p. 34–50, 2010.

REIS, L. V. S. **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público**: caso do manancial do município de Piracicaba. 2004. 215 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

ROWE, D. K.; SUREN, A. M.; MARTIN, M.; SMITH, J.P.; SMITH, B.; WILLIAMS, E. **Lethal turbidity levels for common freshwater fish and invertebrates in Auckland streams**. 2002. 36 p. Auckland Regional Council Technical Publication, n. 337, Hamilton, 2002. Disponível em: <<http://www.aucklandcity.govt.nz/council/documents/technicalpublications/ARC-TP-337.pdf>> Acesso em: 07/03/2015.

SALMONA, Y. B.; REIS JUNIOR, D. R. Valoração de serviço ambiental prestado por unidades de conservação no abatimento de erosão: um ensaio metodológico. **Revista Geográfica de América Central**, Heredia, n.2, p. 1–19, 2011.

SANTOS, B. B.; ESTIGONI, M. V.; MIRANDA, R. B.; BOTELHO, D. A.; MAUAD, F. F. Estudo da relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez no reservatório de Mogi-Guaçu (SP). In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 11., 2014, João Pessoa. Anais... Porto Alegre: PUCRS, 2014. p. 1-11.

SANTOS, T. E. M., MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 16, n. 8, p. 871-880, 2012. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n8/a09v16n8.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n8/a09v16n8.pdf)>. Acesso em 30/01/2015.

SHREVE, R.L. Infinite topologically random channel networks. **The Journal of Geology**. v. 75, n. 2, p. 178-186, 1967. Disponível em: <[www.jstor.org/stable/30066047](http://www.jstor.org/stable/30066047)>. Acesso em: 07/07/2014.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. Infiltração e armazenamento no solo. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007. P. 335-372.

STATSOFT, Inc. (2011). STATISTICA: data analysis software system, versão 10. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

TACHIKAWA, T.; KAKU, M.; IWASAKI, A.; GESCH, D.; OIMOEN, M., ZHENG, Z.; DANIELSON, J.; KRIEGER, T.; CURTIS, B.; HAASE, J.; ABRAMS, M.; CRIPPEN, R.; CARABAJAL, C.; ASTER global digital elevation model version 2 – summary of validation results. METI e NASA, 2011. Disponível em: <[www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/Summary\\_GDEM2\\_validation\\_report\\_final.pdf](http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/Summary_GDEM2_validation_report_final.pdf)>. Acesso em: 13/08/2013.

TEKLEHAIMANOT, P. G.; JARVIS, P. G.; LEDGER, D. C. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 389, n. 3-4, p. 261-278, 1991.

TEIXEIRA, E. C.; SENHORELO, A. P. Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PUCRS, 2000. p. 1-5.

TONG, S. T. Y.; CHEN, W. Modeling the relationship between land use and surface water quality. **Journal of Environmental Management**, v. 66, n. 4, p. 377–393, dez. 2002

TRAN, C. P. BODE, R. W.; SMITH, A.J.; KLEPPEL, G. S. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). **Ecological Indicators**, v. 10, p. 727–733, 2010.

TUCCI, C. E. M. Interceptação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007. P. 243-252.

\_\_\_\_\_. Escoamento superficial. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2007. P. 391-441.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **TOPODATA**: seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. 2010. 74 f. Projeto de produtividade em pesquisa. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. v. 1., 452 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: [s.n.]. p. 58, 1978.